



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE GRADO

TÍTULO DEL TFG: Estudio de las posibilidades de uso de energías renovables y construcción de una pista sobre el mar en un aeropuerto de tamaño mediano

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería de Aeronavegación/Grado en Ingeniería de Aeropuertos

AUTORES: Meritxell Corbeto González
Carlos Enrique Orbegoza Rubio

DIRECTOR: Juan Carlos Aguado Chao

FECHA: 24 de octubre del 2019

Título: Estudio de las posibilidades de uso de energías renovables y construcción de una pista sobre el mar en un aeropuerto de tamaño mediano

Autores: Meritxell Corbeto González
Carlos Enrique Orbegozo Rubio

Director: Juan Carlos Aguado Chao

Data: 24 de octubre del 2019

Resumen

La realización de este trabajo se ha centrado en el estudio de soluciones para un aeropuerto español mediano para solventar sus problemas de capacidad y reducir el impacto medioambiental. Para ello las soluciones a priori para estudio era la viabilidad de incorporación de una pista sobre el mar para mejorar la capacidad; y por otro lado la implementación tecnologías renovables para el suministro parcial o total de la demanda energética del aeropuerto a elegir reduciendo así la huella medioambiental.

La primera parte del trabajo realizado se centra en la elección del candidato a incorporar ambas soluciones a partir de un método que tienen en cuenta diferentes factores (Modelo P.E.S.T.E.L). Donde finalmente el Aeropuerto de Lanzarote sale escogido por su ubicación cerca del mar, la necesidad de una nueva incorporación de una nueva pista debido a la alta demanda de los últimos años y la buena disposición de viento y sol durante todo el año.

Se ha introducido un primer análisis para justificar la viabilidad del proyecto teniendo en consideración el estado actual, su previsión de demanda y capacidad en 2030 a partir de la tendencia de los últimos 8 años a partir de regresiones; como también del impacto medioambiental y social que supondría incorporar la nueva pista sobre el mar.

En el segundo capítulo de este trabajo se ha diseñado la orientación y el dimensionamiento de la pista teniendo en cuenta sus factores limitantes y siguiendo los procedimientos por el anexo 14 de la OACI.

Para la orientación de la pista se ha tenido en cuenta primeramente que el factor de utilización sea como mínimo del 95% a partir del análisis de la rosa de vientos para el Aeropuerto de Lanzarote. Segundamente se ha tenido en cuenta el ruido que podría generar la nueva pista sobre la población cercana de tal manera que no supere el L_{den} establecido por la Ley 37/2003 del Real Decreto. Terceramente se ha procedido la valoración del cumplimiento de las superficies limitadoras para garantizar las operaciones de las futuras aeronaves en la nueva pista a construir. Como último factor importante a la hora del diseño de la

orientación, se ha considerado el estudio de la orografía cerca de la costa del Aeropuerto de Lanzarote para comprobar la viabilidad de realizar estructuras en el fondo marino.

Para el dimensionamiento de la pista se ha seguido el manual del Anexo 14 de la OACI para especificar las características más relevantes de una pista: longitud de pista, anchura , márgenes y calles de rodaje que dependían intrínsecamente la clave de referencia del aeropuerto actual y del tipo de aeronave que operarán en ella.

En el tercer y último capítulo se reflexiona sobre la importancia de tener presente la preservación del medioambiente en el sector aeronáutico. Se realiza una estimación a grosso modo de la energía que necesitará abastecer el Aeropuerto de Lanzarote para 2030 y se propone un modelo sostenible basado en energía Solar y Eólica para el suministro de la futura demanda.

Title: Study of the possibilities of renewable energies usage and construction of a new runway over the sea in a medium size airport

Authors: Meritxell Corbeto González
Carlos Enrique Orbegoza Rubio

Director: Juan Carlos Aguado Chao

Date: October 24th 2019

Overview

The aim of this project has been focused in the study of possible solutions to medium-size airport in Spain in order to solve capacity problems and reduce the environment impact. A priori, two solutions need to be studied to demonstrate its viability. The first one is the implementation of a new runway over the sea to enhance the capacity and the second one, the introduction of renewable technologies to supply total or partially the energy demand on the airport (to determine) reducing emissions.

The first part of the project is focused on the choice of the candidate to incorporate both solutions based on a method that takes into account different factors (P.E.S.T.E.L. model). After the first approach, Lanzarote Airport is chosen due to its suitable location near the sea, the possibility of incorporation a new runway to cover the high demand of the recent years; and the suitable conditions to profit renewable sources such as wind or sun radiation.

A first analysis has been introduced to justify the viability of the project taking into account the recent situation of the airport, demand and capacity prediction by 2030 from an eight-historical-year-trend doing linear, parabolic and exponential regressions; and the environmental and social impact that new runway over the sea would entail.

In the second chapter of this project, the orientation and dimensioning of the track has been designed taking into account its limiting factors and following the procedures in ICAO Annex 14.

For the orientation of the runway, the factor of at least 95% of utility has been taken into account first from the analysis of the wind rose for the Lanzarote airport. Secondly, the noise generated by the new track on the nearby population has been taken into account in such a way that it does not exceed the Lden established by Law 37/2003 of the Royal Decree. Thirdly, the assessment of compliance with limited surfaces has been taken into account to guarantee the operations safety on the new runway to be built. As a last important factor when designing the orientation, the study of the orography near the coast of the

Lanzarote Airport has been considered to verify the feasibility of making structures on the seabed.

For runway dimension, the ICAO Annex 14 manual has been followed to specify the most relevant characteristics of a runway: runway length, width of the runway, margins and taxiways that intrinsically depended on the Airport reference key and the aircraft type considered to operate.

The third and final chapter focus on the importance of keeping in mind the preservation of the environment in the aeronautical sector. Energy consumption prediction has been made in order to know the amount of energy to that will need to be supplied by the Lanzarote Airport by 2030 and a sustainable model based on Solar and Wind energy is proposed for the future demand.

«Es extraño que sólo las personas extraordinarios hagan descubrimientos que
luego aparecen de manera fácil y sencilla»
«No se puede enseñar nada a un hombre, sólo se le puede ayudar a
descubrirse a sí mismo»

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
--------------------	-------------------------------

CAPÍTULO 1. ELECCIÓN DEL CANDIDATO 5

1.1. Análisis a priori	5
1.1.1. Problemática en los aeropuertos españoles	5
1.1.2. Primera aproximación de candidatos	17
1.2. Comparativa	¡Error! Marcador no definido.0
1.2.1. P.E.S.T.E.L.....	20
1.2.2. Tabla comparativa.....	21
1.3. Aeropuerto de Lanzarote	¡Error! Marcador no definido.6
1.3.1. Situación actual	¡Error! Marcador no definido.7
1.3.2. Predicciones futuras	¡Error! Marcador no definido.0
1.4. Impacto medioambiental	¡Error! Marcador no definido.7
1.4.1. Estudio medioambiental en el aeropuerto de Lanzarote.....	37
1.4.2. Identificación y valoración de impactos (construcción pista sobre el mar)	41
1.5. Conclusiones	43

CAPÍTULO 2. DISEÑO DE LA PISTA . ¡Error! Marcador no definido.5

2.1. Orientación de la pista	¡Error! Marcador no definido.5
2.1.1. Factores importantes	¡Error! Marcador no definido.5
2.1.2. Estudio de los vientos.....	¡Error! Marcador no definido.6
2.1.3. Consideración del ruido.....	51
2.1.4. Superficie limitadora de obstáculos.....	¡Error! Marcador no definido.3
2.1.5. Orografía de Lanzarote	58
2.2. Características físicas	61
2.2.1. Pista	61
2.2.2. Márgenes de pista	¡Error! Marcador no definido.3
2.2.3. Franjas de la pista	¡Error! Marcador no definido.3
2.2.4. Áreas de seguridad de extremos de pista.....	64
2.2.5. Calles de rodaje.....	65
2.2.6. Márgenes de las calles de rodaje.....	67
2.2.7. Franjas de las calles de rodaje.....	67
2.2.8. Apartaderos de espera y puntos de espera	67
2.2.9. Plataformas.....	67
2.2.10. Puestos de estacionamiento aislado para aeronaves.....	68
2.2.11. Zona libre de obstáculos	68
2.2.12. Zona de parada	69
2.2.13. Distancias declaradas	69
2.2.14. Tabla resumen.....	69
2.3. Conexión con tierra	70
2.3.1. Escenario 1: con puente.....	71
2.3.2. Escenario 2: sin puente	74
2.3.3. Orografía de las conexiones.....	75
2.5. Conclusiones	78

CAPÍTULO 3. USO DE ENERGÍAS RENOVABLES Y SOSTENIBILIDAD 80

3.1. Consumo energético en los aeropuertos	83
3.1.1. Distribución del consumo eléctrico en el entorno aeroportuario	84
3.1.2. Consumo en el aeropuerto de Lanzarote	85
3.1.3. Previsión de consumo energético en el aeropuerto de Lanzarote	87
 3.2. Energías renovables en el entorno aeroportuario	 88
3.2.1. Energía solar	89
3.2.2. Energía eólica	92
3.2.3. Energías renovables del futuro	95
3.2.4. Consideraciones en la instalación	96
 3.3. Estimación de generación energética	 100
3.4. Alternativas: tratamiento de residuos/material	101
3.4.1. Situación actual	101
3.4.2. Soluciones alternativas	103
 3.5. Conclusiones	 104

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES 106

Bibliografía	108
---------------------------	------------

Annexos	111
----------------------	------------

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

Abreviaturas

AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
AENA	Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea
ASDA	Distancia disponible de aceleración-parada
ATAG	Air Transport Action Group
C	Grados Celsius
CO ₂	Dióxido de carbono
NO _X	Óxidos de nitrógeno
DME	Equipo radiotelemétrico
EASA	Agencia Europea de Seguridad Aérea
EEA	Espacio Económico Europeo
IATA	Asociación Internacional de Transporte Aéreo
ILS	Sistema de aterrizaje por instrumentos
LDA	Distancia de aterrizaje disponible
m	Metro
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
RESA	Área de seguridad de extremo de pista
TODA	Distancia de despegue disponible
TORA	Recorrido de despegue disponible
VOR	Rediofaro omnidireccional VHF

Símbolos

°	Grado
=	Igual
%	Porcentaje

INTRODUCCIÓN

Con poco más de 100 años de historia, el sector aeronáutico se ha convertido en una potencia económica importante que ha movido 2,7 billones en 2017 [1] y genera 65,5 millones de empleo en todo el mundo. Si este sector fuera un país se situaría en la posición 20 de la economía del mundo y si fuera poco, está en previsión de crecimiento del 5% en los próximos 20 años [2].

Según el informe elaborado por la ATAG [1] (Air Transport Action Group) “*Aviation: Benefits Beyond Borders*” del 2017, el alcance de la industria aeronáutica es de 1.303 líneas aéreas, 31.717 aviones en 45.091 rutas entre 3759 aeropuertos en el espacio aéreo administrado por 170 proveedores se servicios de navegación aérea siendo el método de transporte del 57% de los turistas a nivel mundial.

Sin embargo, este sector se enfrenta a diversas problemáticas [3] citadas a continuación:

- Ampliación y adecuación de la capacidad en términos de pasajeros/operaciones/mercancías .
- Remodelación de Infraestructuras de Aeropuertos y de la gestión de tráfico aéreo (en Inglés, ATM).
- Reducir la huella ambiental.
- Mejorar la Seguridad.
- Mejorar la experiencia de los viajeros.
- Entre otras.

Como se puede observar, no es corta la lista expuesta, y ya varias instituciones aeronáuticas han comenzado a desarrollar y planificar proyectos para solventarlos. Cabe destacar uno en concreto que se está desarrollando a nivel europeo: SESAR 2020 que su principal foco recae en la Remodelación de Infraestructuras y de la optimización de la Gestión del tráfico aéreo aportando soluciones tecnológicas innovadoras, óptimas y eficientes.

No obstante, la problemática que más está en el punto de mira es la referente a la optimización de la gran demanda de pasajeros y operaciones que está en constante crecimiento. Para ser más concisos, el número de vuelos aumentaron un 8% entre 2014 y 2017, y se prevé que crezca un 40% en los próximos 25 años según datos de Eurocontrol [3] a nivel europeo. Con respecto a nivel mundial, según datos de IATA, se aumentó un 5,4% la demanda internacional y un 4,4% los domésticos en el último año [4]. Éste tráfico no está segregado equitativamente en todos los continentes, siendo Europa, Asia Pacífico y Norteamérica los que abarquen más del 80% del tráfico Aéreo; generando así un cuello de botella importante en principales aeropuertos Hub del mundo como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla Intro. Los 10 aeropuertos más congestionados en 2017-2018 [5]

Puesto	Aeropuerto	Pasajeros (2018 – preliminar)	Pasajeros (2017 – final)
1	Atlanta (ATL)	104.484.085	101.117.683
2	Beijing (PEK)	101.265.072	99.659.713
3	Dubai (DXB)	87.726.638	88.181.751
4	Tokyo (HND)	86.333.763	77.827.922
5	Los Angeles (LAX)	85.875.862	82.623.315
6	Chicago (ORD)	80.648.804	76.460.817
7	London (LHR)	75.881.644	78.316.009
8	Jakarta (CGK)	74.133.876	67.857.668
9	Hong Kong (HKG)	73.708.959	72.442.220
10	Shanghai (PVG)	72.854.527	71.251.205

Para encarar la congestión de tránsito aéreo es importante analizar soluciones que recaen tanto en la gestión del tránsito aéreo como la gestión de los recursos en la terminal que se profundizará con más detalle en el capítulo 1 de este trabajo.

Por otro lado, la problemática que debería ser igual o más importante como las otras mencionadas es la del impacto medioambiental, que será la encargada de mantener el sector aeronáutico en pie para las futuras generaciones. Esta temática ya está siendo tratada por muchas entidades (hablando a nivel Europeo) como la EEA, EASA y Eurocontrol.

Según el último Reporte Medioambiental de la Aviación Europea de 2019, destaca aún el significativo aumento de emisión generales y ruido desde el 2014 pese a las mejores tecnológicas, renovación de flotas más sostenibles y la mayor eficiencia operativa. En 2016, la aviación fue el responsable del 3,6% del total de emisiones de gases de efecto invernadero de la UE [6] y se espera que el número de aeropuertos que manejan más 50.000 aviones anuales aumente de 82 en 2017 a 110 en 2040, por lo que el nivel de ruido llegará nuevas poblaciones. Para acabar, se pronostica que las emisiones de CO₂ y NO_x sigan aumentando en 21% y 16%, respectivamente.

Como se ha podido observar en esta introducción, la problemática del sector aeronáutico es una cuestión de carácter global que afecta tanto al bienestar y a la salud de las personas, a los recursos de nuestro planeta y su sostenibilidad y

la economía frente a un crecimiento demográfico y avance tecnológico constante que requiere soluciones óptimas, eficientes y sostenibles.

El objetivo de este trabajo consistirá en plantear dos posibles soluciones que encaren algunas problemáticas del sector aeronáutico: la adaptación frente al aumento de capacidad previsto en el futuro y la reducción de la huella medioambiental.

El documento se estructura en cuatro diferentes capítulos que se explicarán a continuación. Cal destacar que cada capítulo termina con unas breves conclusiones con tal de resumir el capítulo entero y sintetizar la idea principal y más importante de la sección.

El primero es fundamental ya que se basa en la elección del mejor candidato a analizar en el proyecto. El capítulo se divide en cinco apartados, donde se realiza un análisis de los aeropuertos españoles (hablando de capacidad, demanda y demoras), luego se elabora una comparativa de todos los posibles candidatos basándose en el análisis P.E.S.T.E.L., se hace un estudio sobre el aeropuerto elegido (mostrando cifras y gráficos) acompañado de predicciones futuras y, por último, se muestra el impacto medioambiental del proyecto.

El segundo capítulo se basa en el diseño y dimensionamiento de la pista. En los cuatro apartados que comprende este capítulo, se abarcan temas de orientación de la pista (teniendo en cuenta factores como ruido, viento y orografía, entre otros), el método que se seguirá para conectar la pista sobre el mar con tierra y, la mayor parte del capítulo, que es la toma de decisión de las medidas que tomará la pista justificando cada paso dado y el por qué de cada suposición tomada y cálculo realizado.

El tercer capítulo trata del uso de energías renovables en el aeropuerto elegido. Los cinco apartados que contiene el capítulo, hablan del consumo energético en el aeropuerto (mostrando datos de la situación actual, las emisiones y previsiones), de las energías renovables viables que se pueden aplicar en el aeropuerto, luego se tomará una visión futura hablando de fuentes renovables que podrían aparecer en unos años y, al final, se mostrarán las alternativas para el tratamiento de residuos y materiales.

El último capítulo se dedicará a las conclusiones generales de todo el proyecto.

CAPÍTULO 1. ELECCIÓN DEL CANDIDATO

1.1. Análisis a priori

En este primer apartado del capítulo uno, se realizará un profundo análisis de los diversos problemas que sufren los aeropuertos de la red de Aena. Gracias a los datos proporcionados por Aena, será posible la elaboración de tablas y gráficas que ayudarán a entender la necesidad de actuar ante las adversidades a las que se enfrentan los aeropuertos españoles cada día. Además de hablar de los problemas, se expondrán las posibles soluciones que se pueden tomar al respecto con tal de justificar el tema del proyecto.

Una primera elección de los primeros candidatos como aeropuerto final para aplicar la solución, será justificada también en este apartado, donde se razonarán las razones tomadas en cada paso.

1.1.1. Problemática en los aeropuertos españoles

Este apartado tiene como objetivo principal englobar los problemas que tienen los aeropuertos españoles en general, analizar las posibles soluciones a dichos problemas y decidir cuál es la solución más óptima hoy en día teniendo en cuenta varios factores.

Constantemente se escuchan noticias relacionadas con problemas en los aeropuertos, ya sea por la capacidad, por retrasos o por aumentos de demanda. Es muy común que dichos temas resurjan en fechas señaladas como navidad, verano, puentes y festivos, ya que es cuando las infraestructuras aeroportuarias se encuentran más congestionadas.

Dentro de los problemas que sufren los aeropuertos desde hace bastantes años, se encuentran la demanda, la capacidad y los retrasos. A continuación, se realizarán estudios breves sobre cada una de estas problemáticas con datos reales extraídos directamente de la página web de Aena.

1.1.1.1. *Demanda*

A nivel europeo, España se encuentra en el tercer puesto como país con mayor volumen de tráfico aéreo. Los aeropuertos de Madrid y Barcelona están situados entre los diez primeros aeropuertos en cuanto a tráfico de pasajeros y número de operaciones en toda Europa.

A nivel europeo, durante la primera mitad del 2019, el tráfico aéreo en el área de EUROCONTROL creció de media en un 1,7%, cifra que corresponde a unos 495 vuelos de más por día.

Más de 29,4 millones de pasajeros pasaron por los aeropuertos de la red de Aena el pasado mes de agosto, lo que supone un incremento del 4% con respecto al mismo mes de 2018.

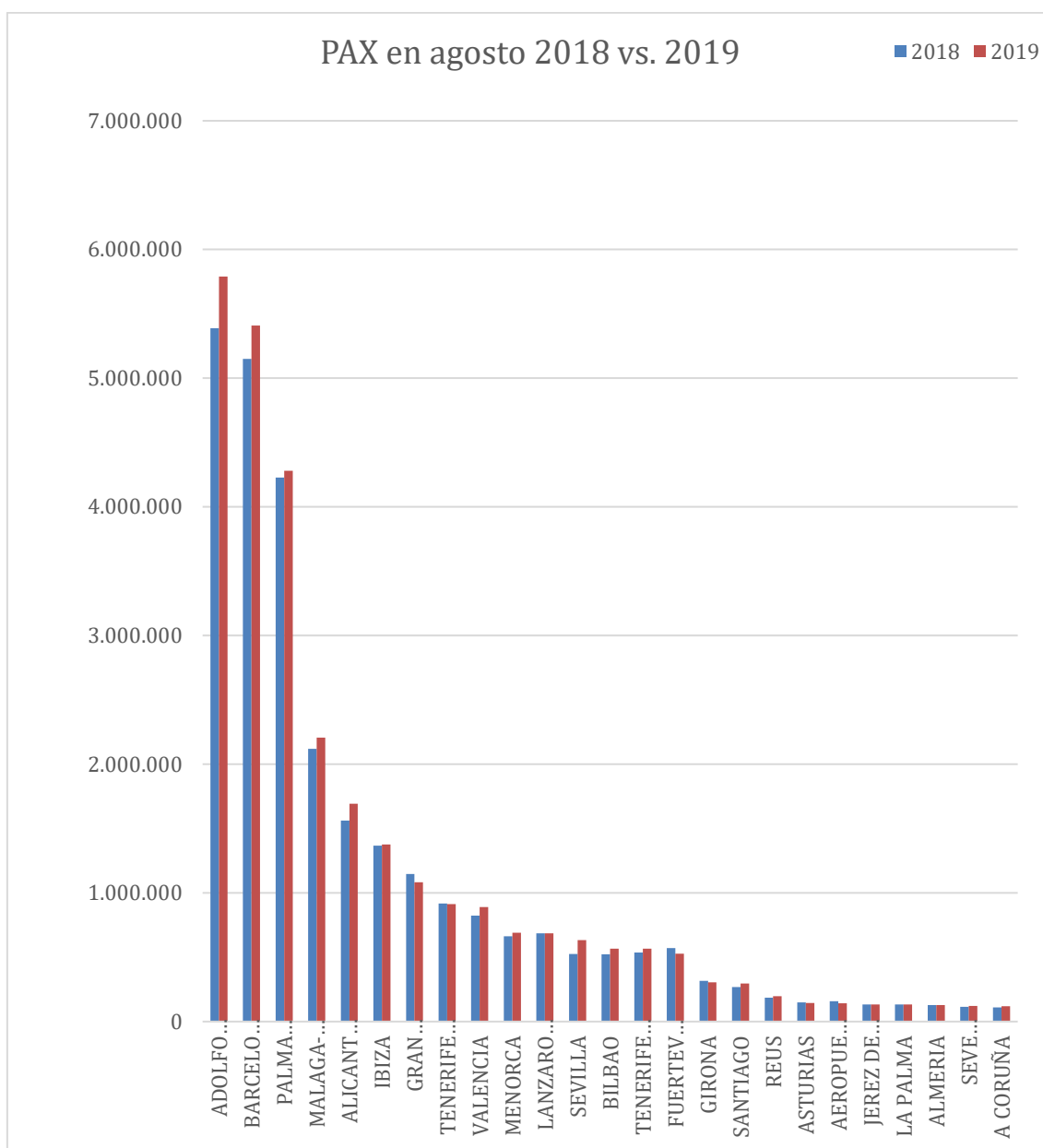
La tabla mostrada en el anexo 1 demuestra dichas cifras donde la primera columna enumera los aeropuertos españoles, la segunda columna son los pasajeros correspondientes para el mes de agosto de 2018, la tercera columna

es para el agosto de este año 2019 y la última columna realiza el cálculo del incremento (en verde) o descenso (en rojo) en porcentaje comparando los dos años.

A partir de la tabla, se llega a la conclusión de que solo una tercera parte de los aeropuertos españoles han sufrido un descenso de pasajeros, mientras que 32 de los 48 aeropuertos españoles han sufrido un aumento considerable en el número de pasajeros.

El gráfico 1.1. se muestra una visión más obvia de este hecho, donde se han seleccionado los aeropuertos que acogieron a más de 100.000 pasajeros. Se puede ver en naranja los datos de 2019 y en azul los de 2018. Las diferencias más significativas se notifican en los aeropuertos más grandes como Madrid y Barcelona.

Gráfico 1.1. Pasajeros en los aeropuertos españoles año 2018 vs 2019



El aeropuerto que más pasajeros registró el pasado agosto fue el de Adolfo Suárez Madrid-Barajas, con casi 5,8 millones de pasajeros, lo que supone un aumento del 7,48% con respecto al mismo mes de 2018. Le sigue muy de cerca el aeropuerto de Barcelona con 5,4 millones de pasajeros y un aumento del 5% aproximadamente.

Si se tiene una visión más general y se contempla todo lo que se lleva de año 2019 (de enero a agosto) con años anteriores, se obtiene la tabla que se muestra en el anexo 2.

De enero a agosto de 2019 el tráfico de pasajeros en los aeropuertos de la red de Aena aumentó un 5% respecto al mismo periodo de tiempo de 2018 hasta alcanzar los 186.805.850 pasajeros.

El número de pasajeros ha aumentado notablemente con el paso de los años llegando a un 20,21% si se compara el total de pasajeros desde enero a agosto para los años 2016 y 2019.

Dicha comparativa es representada en el gráfico del anexo 3.

En cuanto al número de operaciones, se registraron 234.738 movimientos de aviones en el mes de agosto de 2019, lo que supone un incremento del 1,4% con respecto al mismo mes de 2018. El anexo 4 muestra una tabla donde se reflejan dichos datos sobre las operaciones.

En este caso, el 62,5% de aeropuertos españoles, incrementó su número de operaciones en el mes de agosto respecto al año anterior.

El aeropuerto de Adolfo Suárez Madrid-Barajas se sitúa otra vez a la cabeza con 37.140 vuelos, un 4,31% más respecto al año 2018. Volviendo al aeropuerto de Josep Tarradellas Barcelona-El Prat, el aeropuerto acogió un total de 32.673 operaciones el pasado mes de agosto, mientras que para el mismo mes en 2018, operó un total de 32.060 vuelos, lo que significa que ha aumentado su número de operaciones un 1,91% respecto al 2018. Estos cambios pueden ser observados en el anexo 5, acompañados de los aeropuertos que han alojado más de 1.000 operaciones durante el mes de agosto.

Contemplando las operaciones de todos los aeropuertos españoles durante el periodo comprendido entre enero y agosto para los años 2016, 2017, 2018 y el actual, 2019, se obtiene la tabla del anexo 6.

Se puede observar el constante y continuo crecimiento en el número de operaciones para los meses expresados en la tabla.

La tabla del anexo 6 se encuentra expresada gráficamente en el anexo 7 con el objetivo de notificar el gran aumento en operaciones que han sufrido los aeropuertos españoles durante los últimos 4 años.

En resumen, casi 200 millones de pasajeros pasan por los aeropuertos españoles cada año, cifra que, como se ha demostrado con datos reales en este apartado, ha ido aumentando con el paso de los años y parece que no parará de hacerlo, aunque ese punto se tocará más adelante en el proyecto cuando se analicen las predicciones futuras.

La demanda de transporte aéreo ha ido desarrollándose a lo largo de su historia impulsada por los avances en tecnología de aeronaves e infraestructuras, que ampliaron la seguridad, el alcance, la rapidez y la comodidad de los vuelos, reduciendo también los costes operativos con lo que aumentaba su clientela potencial.

1.1.1.2. Retrasos

Esta segunda problemática de retrasos, está muy relacionada con el anterior problema, la demanda. Ya que el aumento del número de personas que viajan ha venido acompañado de un aumento del número de personas que sufren alguna incidencia durante su vuelo. Una cuarta parte de los vuelos en el aeropuerto de Barcelona-El Prat, padecieron retrasos o cancelaciones durante el 2018, y esto sitúa a Barcelona en el aeropuerto con más retrasos a nivel nacional. Palma de Mallorca es el segundo aeropuerto español con más incidencias de puntualidad con un 24,7% de vuelos que no despegaron a la hora prevista, seguido del aeropuerto de Ibiza con un 22,5%.

Según FlighStats [7], durante el agosto de 2019, el 35,54% de los vuelos en el aeropuerto de Barcelona han sufrido un retraso mayor a 15 minutos con un retraso medio de 46,3 minutos. Madrid, en cambio, tiene un retraso medio de 43,5 minutos con un 23,85% de sus vuelos retrasados más de 15 minutos.

La tabla del anexo 8 dota de los porcentajes de vuelos que han sufrido un retraso mayor a 15 minutos en los 13 aeropuertos nacionales con más retrasos.

El aeropuerto de Mallorca lidera el ranking de aeródromos españoles con mayor número de retrasos, con un 35,62% de sus vuelos saliendo más tarde de la hora prevista durante el mes de agosto de 2019, según el estudio elaborado por Flightstats. Muy de cerca le sigue el aeropuerto de Barcelona con un 35,54%.

El segundo aeropuerto con más incidencias en España, es el de Barcelona con un 35,54% de retrasos registrados durante el mes de agosto. El aeropuerto también se ubica en el top 10 dentro de los europeos con más minutos de demora al día. En España se han disminuido los retrasos por la mejora de gestión, mientras que en el Centro de Europa la situación ha empeorado por falta de controladores y situaciones meteorológicas adversas.

En tercer lugar, se encuentra el de Ibiza, con el 34,62% de atrasos en sus vuelos. A este le siguen los de Málaga, Valencia y Tenerife Sur, los cuales tuvieron un promedio que ronda el 33% y 34% de demoras en sus vuelos. Los aeropuertos con menos retrasos han sido los de Las Palmas, Lanzarote o Tenerife Norte. En estos últimos casos, los aeropuertos solo han registrado entre un 14% y 21% de incidencias, situándolos por debajo de la media del 33% de los grandes aeropuertos de Europa.

La gráfica del anexo 9 muestra los datos de la tabla del anexo 8 diferenciado por meses y aeropuertos.

Realizando una comparación del mes de agosto de 2019 con el mismo mes del año anterior (ver anexo 10), se puede visualizar un aumento considerable del

porcentaje de vuelos con retrasos en un 76,92% de los 13 aeropuertos con más retraso en España. El aeropuerto de las Palmas encabeza esta clasificación con un aumento del casi 42% de sus vuelos. Málaga es el siguiente aeropuerto ya que pasó de tener un 28,34% de vuelos retrasados, a tener un 34,27% en el mes de agosto de 2019. Por otro lado, los aeropuertos de Mallorca, Barcelona e Ibiza han disminuido el número de vuelos con retrasos. Pese a que el aeropuerto de Barcelona encabeza el ranking de aeródromos con mayores demoras, ha mejorado la puntualidad respecto a agosto de 2018, cuando el 42,66% de sus vuelos no salieron fuera de hora. Además, ha reducido las cancelaciones gracias a una mejor gestión, a la coordinación entre los agentes y la reestructura de las rutas para soslayar la congestión del tráfico aéreo.

Los datos de la tabla del anexo 10 pueden ser visualizados en el gráfico del anexo 11.

A nivel europeo, si se compara el mes de agosto de 2019 con el de 2018, se puede notar una disminución del tiempo medio de retraso en los vuelos que llegan, en concreto, una disminución del 21,9% dejando al pasado mes de agosto de 2019 [8] con un tiempo medio de 12,7 minutos por vuelo. Este hecho ha provocado que aumente el porcentaje de vuelos puntuales en un 4,6% colocando a Europa con un 76,9% de sus vuelos llegando a su hora.

Si se habla de tiempo medio total de retraso (tanto en ruta como en el aeropuerto) por gestión de la afluencia del tráfico aéreo, esta cifra es equivalente a 3,38 minutos por vuelo, y ha bajado en un 4,7% respecto al mes de agosto de 2018. En resumen, los datos de Eurocontrol [9] muestran que en la primera mitad de 2019, el total de demoras en la gestión del tránsito aéreo en ruta en el área europea disminuyó en un 10,10% en comparación con el mismo período en 2018. Como resultado, la demora de la gestión de afluencia del tránsito aéreo en ruta promedio por vuelo disminuyó de 1,49 en 2018 a 1,32 en 2019.

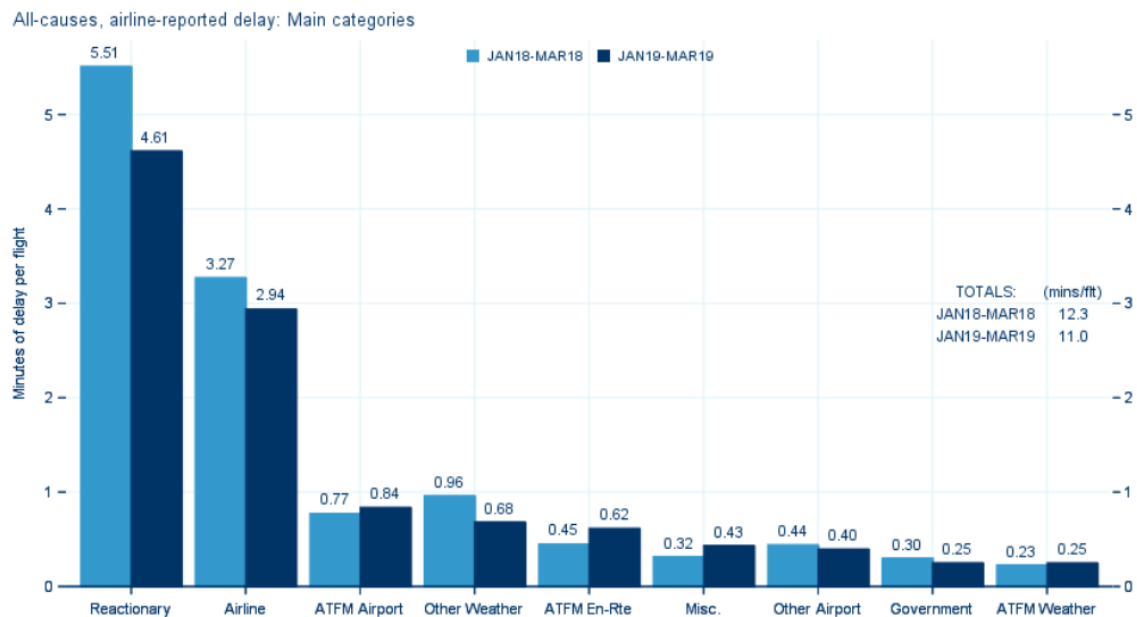
En comparación con la primera mitad de 2018, esta disminución en Europa se debe principalmente a un clima menos adverso y menos huelgas.

En territorio nacional, los retrasos atribuidos a la capacidad del control del tráfico aéreo y la dotación de personal continuaron aumentando en comparación con el mismo período de 2018. Las causas de estas demoras se deben principalmente a la escasez de personal y de capacidad, a lo que se suman las condiciones meteorológicas adversas y las huelgas en España. Lo que lleva a la tercera y última principal problemática en los aeropuertos españoles, la capacidad.

Aunque se han hablado ya de muchas de las causas que provocan demoras en los vuelos, según Eurocontrol [10], las principales causas de demora durante el mes de agosto de 2019 fueron las reaccionarias, las de la compañía aérea y las provocadas por la gestión de afluencia del tránsito aéreo en el aeropuerto.

Las demoras reaccionarias son las causadas por llegadas tardías de aeronaves o tripulación de previos trayectos. Este tipo de demora se tradujo en unos 4,6 minutos de retraso por vuelo aproximadamente, la mayor cantidad de minutos si se compara con las otras dos causas de demora.

La siguiente gráfica proporcionada por Eurocontrol muestra las principales causas de demoras (donde las tres primeras son las recién comentadas), con los correspondientes minutos por vuelo que han demorado comparando el periodo desde enero a marzo de los años 2018 y 2019.

Gráfico 1.2. Desglose del retraso promedio por vuelo demorado 2018 vs. 2019.

Se puede observar que las causas reaccionarias y las provocadas por las compañías aéreas, se han visto reducidas en 2019 respecto al año anterior. Estos dos factores hicieron reducir el tiempo medio de demora por vuelo de unos 12,3 minutos en 2018 hasta alcanzar los 11 minutos en 2019.

Existen varios códigos de demora según la situación y el motivo, los cuáles se pueden encontrar en la referencia [11].

1.1.1.3. Capacidad

La última problemática que se estudiará en este apartado será la capacidad en los aeropuertos.

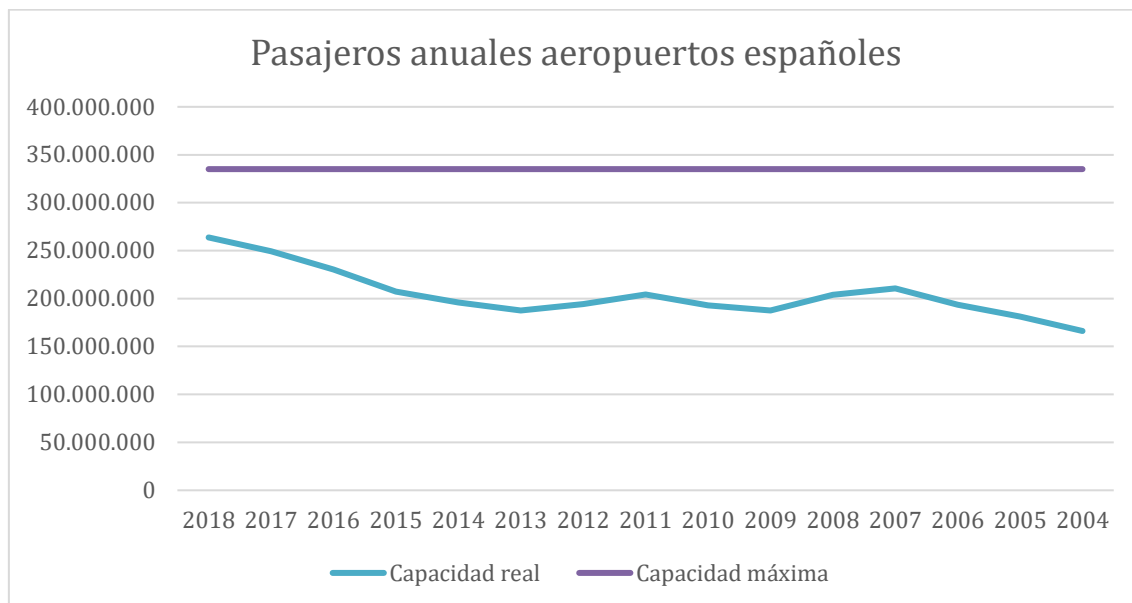
Según la OACI [12], se puede definir la capacidad aeroportuaria como el número máximo de operaciones de aeronaves para un determinado aeropuerto, en condiciones específicas tomando en cuenta todas las operaciones de aeronaves en despegue y aterrizaje para un período especificado de tiempo.

Puede suceder que, por la capacidad física de la plataforma de estacionamiento de aeronaves, el número de aeronaves que define la capacidad aeroportuaria de cierto aeropuerto sea menor al número de aeronaves que resulta del cálculo de la capacidad de pista calculada para dicho aeropuerto que, en ese caso particular, constituiría la limitante real de ese aeropuerto.

Cuando se cubren adecuadamente todos los requisitos acordados, la capacidad de servicio es de 100%; esta se reduce cuando dichos requisitos se encuentran limitados en su operación; a mayor restricción de recursos corresponde una menor capacidad de servicio, pero también puede suceder que se tome en consideración la declaración de un porcentaje menor de la capacidad real para prever la gestión de algunas situaciones de contingencia u otro tipo de operaciones imprevistas.

A partir de los datos proporcionados por Aena, se han extraído el total de pasajeros que han volado desde todos los aeropuertos españoles desde el año 2004 hasta el 2018 obteniendo como resultado el siguiente gráfico.

Gráfico 1.3. Comparación



La progresión durante el paso de los años no ha sido constante, ya que se pueden observar dos caídas en los años 2009 y 2013 (por varias causas, como la crisis española entre otras).

Los aeropuertos españoles trabajan por debajo de su capacidad máxima, ya que ésta es de 335 millones de pasajeros según los principales datos anuales proporcionados por Aena. El pico más alto fue alcanzado en 2018, donde el número de pasajeros en los aeropuertos españoles fue de 263,7 millones, lo cual significa que, en 2018, los aeropuertos de la red de Aena trabajaron un 27% por debajo de su capacidad máxima.

Como se puede observar en la gráfica, la capacidad está aumentando progresivamente y es muy probable que alcance la capacidad máxima en los próximos años.

Fomento proporciona un documento donde detalla por aeropuertos la capacidad máxima de cada uno de ellos.

En la tabla del anexo 12 se han incluido todos los aeropuertos españoles acompañados del número de pasajeros que acogieron en el año 2018 (extraído de Aena) y la capacidad máxima.

La última columna proporciona el resultado de calcular el porcentaje de ocupación restante que le queda al aeropuerto para que llegue a la capacidad máxima establecida por fomento.

Los aeropuertos en verde simbolizan aquellos que poseen un gran margen de crecimiento de capacidad, es decir, que el porcentaje hasta alcanzar la máxima capacidad es mayor a 25%. Aquellos que se encuentran entre un 10% y un 25% son representados en naranja ya que son propensos a llegar a la capacidad

máxima en un periodo relativamente corto de tiempo. Por otro lado, los aeropuertos pintados en rojo representan las infraestructuras que peligran en padecer problemas graves de capacidad en un breve periodo de tiempo.

El aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas tuvo un tráfico de 57,89 millones de pasajeros, mientras que su capacidad teórica es de 70 millones, es decir, que aún tiene un margen del 17,3%; Barcelona-El Prat llegó a 50,17 millones cuando su capacidad es de 55 millones, así que su porcentaje hasta alcanzar su capacidad máxima se queda en un 8,7%; Málaga, que puede gestionar 27 millones, se quedó en 19; y Alicante llegó a 13,98 millones cuando su capacidad es de 19 millones.

Gracias a este pequeño estudio, queda demostrado el problema de capacidad que padecen algunos de los aeropuertos españoles en diferente grado de gravedad. Es un hecho a tener en cuenta para poder llevar a cabo una buena gestión de la red de aeropuertos de Aena y que invita a buscar soluciones a corto o medio plazo.

Cal distinguir entre la capacidad del campo de vuelos, la cuál es el número máximo de operaciones por hora que el operador es capaz de gestionar con unos niveles de retrasos mínimos aceptables, la capacidad de la plataforma de aeronaves, que es el número de aeronaves por hora que se puede acomodar como máximo en las superficies destinadas a tal fin en el aeropuerto, la capacidad del edificio terminal de pasajeros, que es el número de pasajeros que puede gestionar en un intervalo de tiempo de una hora y, por último, la capacidad del edificio terminal de cargo, la cual se define como las toneladas que a lo largo del año pueden tartarse en las instalaciones de carga.

En este proyecto solo se ha tenido en cuenta la capacidad aeroportuaria actual, la cual se define como número de pasajeros anuales máximos en los aeropuertos, aunque se tiene presente que las demás capacidades son igual de importantes. El problema de la congestión del espacio aéreo es actual y está activamente impactando negativamente en forma de cuellos de botellas y de múltiples retrasos en la red de aeropuertos de Aena.

1.1.1.4. Soluciones

A continuación se expondrán las soluciones más óptimas a tener en cuenta cuando una infraestructura aeroportuaria se encuentra frente a uno de los problemas anteriores.

Construcción de una nueva pista terrestre

Esta solución es una de las más elegidas a la hora de desear apaciguar la capacidad máxima en los aeropuertos. Según la disposición a la hora de diseñar la nueva pista, se podrá acoger a un cierto número más de pasajeros. Sin embargo, es una solución que pasa por muchas estudios y análisis de diferentes sectores que van desde el posible ruido que puede causar a los vecinos de las zonas de alrededor, factores ambientales (evitar la construcción de la pista en zona protegidas), factores económicos, etc.

Construcción de una nueva pista sobre el mar

Imitar al aeropuerto japonés de Kansai contemplando la posibilidad de construir una nueva pista sobre requiere del estudio de muchos factores pero dota de gran

libertad a hora de tomar ciertas decisiones. Es un proyecto ambicioso que necesita rigurosos ámbitos de estudio para llevarlo a cabo.

Colaboración de aeropuertos cercanos

La utilización de aeropuertos regionales cercanos al aeropuerto congestionado es una solución que atrae a gran parte del mercado de pasajeros de corto y medio alcance de la zona.

Redistribución de los picos de demanda

Gracias a la tarificación en periodo pico (peak-period pricing), sobretasas directas para los pasajeros, limitación del volumen de tránsito y distribución de slots.

Aunque la ampliación de un aeropuerto llegue a ser inevitable, la solución mediante redistribución de los picos de demanda puede implementarse en menos tiempo que el requerido para construir una nueva instalación, con la ventaja de demorar su ampliación y las grandes inversiones de capital asociadas.

Incremento de la capacidad

Con la ayuda de la construcción de nuevos aeropuertos o de la ampliación de las instalaciones aeroportuarias existentes, se permite el incremento de la capacidad sin la preocupación de alcanzar los valores máximos.

Una propuesta para tratar con la necesidad de incrementar la capacidad aeroportuaria, ha sido el desarrollo de nuevos aeropuertos. Aunque en el pasado esta ha sido una propuesta factible, las restricciones son ahora más numerosas, por ejemplo, las grandes dificultades para encontrar y adquirir grandes extensiones de terreno; los crecientes problemas ambientales; la oposición de comunidades locales para el desarrollo de aeropuertos (debido a los problemas de uso del suelo, ruido, y de congestión en las carreteras alrededor de los aeropuertos); y la escasez de fondos necesarios para el financiamiento de estos proyectos.

Por otro lado, la ampliación de las instalaciones aeroportuarias existentes es una propuesta ampliamente adoptada por varias autoridades aeroportuarias, como un medio para responder al crecimiento de la actividad aérea. Para incrementar la capacidad existente del aeropuerto se tienen distintas alternativas, por ejemplo, la ampliación del área de las plataformas o su incremento para acomodar más aeronaves; la ampliación de los subsistemas del edificio terminal para incrementar la capacidad en el procesamiento de pasajeros; o la incorporación de más espacio para el estacionamiento de vehículos.

Reducción de la demanda

La reducción de la demanda en un aeropuerto puede lograrse al cambiar una porción de la demanda hacia alguna localización alterna o hacia otros modos de transporte, teniéndose las siguientes tres opciones: el procesamiento remoto, ya sea con el estacionamiento de vehículos fuera del aeropuerto, el procesamiento de pasajeros fuera del aeropuerto o con las posiciones remotas para aeronaves; el desarrollo de mega centros de distribución (super-hubs) y, por último, la preliberación de trámites para pasajeros de llegadas internacionales.

Gracias a la propuesta del procesamiento remoto, se ayuda a reducir la demanda en las instalaciones aeroportuarias dando servicio a parte de la demanda, en una instalación alterna o complementaria fuera del aeropuerto. En términos de lado terrestre del aeropuerto, esto aplicaría principalmente al estacionamiento de vehículos, al procesamiento de pasajeros, y a la asignación de posiciones para las aeronaves. Sin embargo, esta solución también debe vencer retos como cumplimientos de requerimientos de seguridad, justificaciones económicas, etc. Por otro lado, los super-hubs (o aeropuertos de transferencia remota) se usan para manejar a los flujos de pasajeros en en transferencia, que de otra forma serían dirigidos hacia aeropuertos congestionados.

Como última propuesta, se tiene la preliberación de trámites para pasajeros de llegadas internacionales, donde las actividades para el procesamiento de viajeros y los requerimientos asociados con la capacidad de la terminal, son cambiados a otro aeropuerto fuera del país de destino. Esta solución supondría problemas de costos involucrados en el establecimiento y operación de tales instalaciones de procesamiento de pasajeros en el país de origen de los usuarios.

Este proyecto pretende escoger una de estas soluciones e implantarla en un aeropuerto español con el objetivo de mejorar el nivel de capacidad de dicho aeropuerto. Por lo que el primer paso consiste en escoger cuál de las soluciones propuestas anteriormente es la más atractiva a la hora de realizar el estudio, además de que sea viable y adecuada para la situación actual.

La primera solución en ser descartada fue la redistribución de los picos de demanda ya que pasaba por factores económicos que se encuentran fuera de nuestro alcance. Además de que es una solución incompleta, ya que a corto plazo es una buena solución, pero con el tiempo es inevitable recurrir a alguna de las otras soluciones.

La utilización de aeropuertos regionales cercanos es una solución que restringiría mucho los candidatos a escoger, ya que son pocos los lugares con aeropuertos regionales cercanos. Los aeropuertos grandes como el de Barcelona, sería un candidato, ya que se podría respaldar en el aeropuerto de Girona. Se descarta esta solución ya que no toca ningún aspecto infraestructural del aeropuerto y solo constaría de la recolocación de vuelos en los aeropuertos regionales.

Por otro lado, una de las soluciones más ambiciosas, la construcción de un nuevo aeropuerto, suena atractivo como proyecto, sin embargo, en aspectos legales, geográficos y económicos es más conflictivo. Además, escoger un aeropuerto con tanta necesidad como para construir uno nuevo y que también se amortice con el paso de los años, no resultaría fácil a nivel nacional. Esta solución ha sido muy común de aplicar en Norteamérica, por ejemplo, pero la viabilidad en territorio español es más compleja.

La ampliación de las infraestructuras aeroportuarias era una solución muy común que ya se ha tomado en muchos de los aeropuertos de la red de Aena a causa de las grandes ventajas que proporciona.

Al finalizar con las tres últimas posibles soluciones (super-hub, nueva pista terrestre y nueva pista sobre el mar), una nueva pista sobre el mar es la solución más innovadora con múltiples factores de ámbitos distintos a tener en cuenta y

con retos constantes que lo hacen un proyecto interesante de elaborar. Problemas socioeconómicos, legales, medioambientales y geotécnicos son algunos de los temas más conflictivos que se pueden encontrar durante la elaboración del proyecto de una pista sobre el mar. Además, imponer la pista sobre el mar, delimita los aeropuertos a tener en cuenta para el estudio, ya que solo los candidatos cercanos al mar, podrán entrar dentro de las posibilidades de viabilidad del estudio.

Por otro lado, el hecho de que el único aeropuerto con pista sobre el mar sea en Japón, lo convierten en un proyecto prácticamente nuevo con el inconveniente de la poca información disponible sobre el tema.

1.1.2. Primera aproximación de candidatos

La elección del candidato ideal para la construcción de una pista adicional fue una decisión donde se tuvieron en cuenta diferentes factores, los cuáles se aplicaron en filtros con tal de reducir el listado de candidatos.

En primera instancia, se tomó como referencia el listado de todos los aeropuertos españoles operativos en la actualidad. A partir de esos 48 aeropuertos, se aplicó el primer filtro que consistía en elegir únicamente aquellos que se encontraran en una situación geográfica adecuada, es decir, cerca del mar. Después de descartar los candidatos que se encontraban alejados del mar, la lista se vio reducida a 15 candidatos, los cuáles se pueden ver en el anexo 13.

A continuación, se tuvo en cuenta el factor de la distancia, ya que ciertos aeropuertos de la lista anterior no se encontraban contiguos a la costa. Los aeropuertos de Málaga, Alicante-Elche y Tenerife Sur fueron descartados ya que la incorporación de una pista sobre el mar, conllevaría la construcción de una vía de conexión con el aeropuerto lo cuál podría causar una problemática con el entorno. Notar que los aeropuertos descartados en este paso, se han indicado con celdas lilas dentro de la tabla de candidatos del anexo 13.



Figura 1.1. Aeropuertos de Tenerife Sur, Málaga y Alicante

Un factor fundamental para la elección del candidato, es la necesidad del aeropuerto. En este punto del estudio, se hizo un pequeño análisis de cada candidato para verificar que el aeropuerto está sufriendo problemas de capacidad.

Al aplicar este filtro, los aeropuertos de Almería, La Gomera y La Palma fueron descartados (representados en azul dentro de la tabla de candidatos del anexo 13).

La Palma se descartó el primero por el motivo principal de que este aeropuerto ya dispone de 2 pistas operativas. La Palma recibió en el año 2018 un total de 1.420.277 pasajeros tanto de llegada como de salida. Si se compara con otro aeropuerto con 2 pistas, como podría ser el aeropuerto de Bilbao, el cuál acogió ese mismo año a 5.469.453 pasajeros, es visible que no es necesaria una tercera pista en La Palma.

Por otro lado, en el año 2018 el aeropuerto de Almería recibió un total de 992.043 pasajeros. Para este caso, se tomaron como referencia los aeropuertos de Santiago y Menorca, los cuáles recibieron a más del doble de pasajeros que Almería disponiendo, también, de una única pista. Como resultado, se concluyó que tampoco era necesaria una segunda pista en el aeropuerto de Almería.

En el caso de La Gomera, sucede lo mismo que en el anterior caso, aunque más acentuado, ya que este aeropuerto tinerfeño apenas llegó a los 100.000 pasajeros en el año 2018 (ver anexo 14).

Después de aplicar los 2 filtros anteriores, la lista se vio reducida en 9 candidatos, pero se siguió con el análisis de candidatos hasta llegar a los 4 mejores. Los siguientes casos se estudiaron uno a uno ya que se descartaron por motivos totalmente independientes.

El siguiente aeropuerto en ser descartado, fue el de San Sebastián, por motivos legales, ya que justamente en el mar se encuentra la frontera de España con Francia, como se puede apreciar en la siguiente imagen.

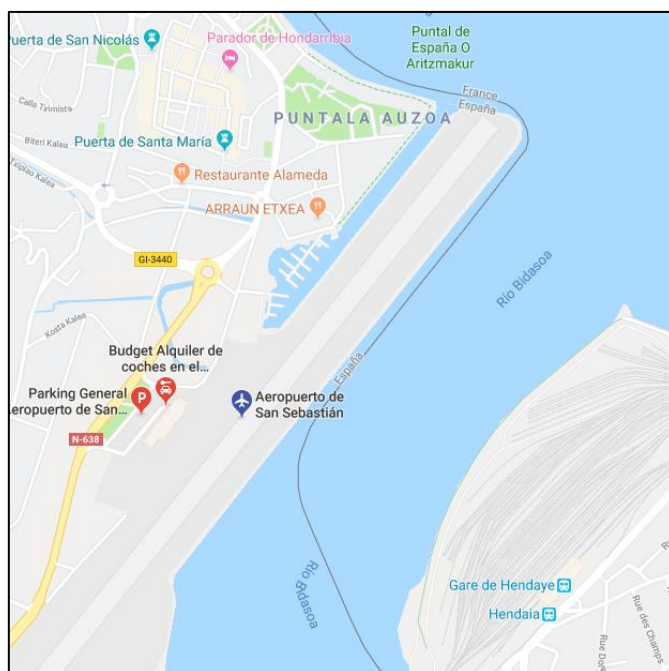


Figura 1.2. Aeropuerto de San Sebastián

En el caso del aeropuerto de Santander, se juntaron 2 motivos. El principal motivo fue incentivado por la cercanía del puerto y zona de población a la posible futura segunda pista. Por otro lado, el número de pasajeros no llamaba suficiente la atención como para plantear la construcción de una segunda pista. En el año 2018, este aeropuerto acogió a 1.103.353 pasajeros en total y se realizaron 11.258 operaciones. Se volvió a realizar una comparación con el aeropuerto de

Santiago, el cuál obtuvo más del doble de pasajeros y el doble de operaciones disponiendo de tan solo una pista.

Siguiendo en el norte de la península, se continuó con el aeropuerto de Asturias. Ciertamente, que el aeropuerto no se encuentra en la mejor disposición geográfica para implantar la pista en el mar, pero ese aspecto no tuvo tanto peso como el motivo real por el que Asturias no acabó entre los 4 mejores candidatos. Las costas del norte de España son comúnmente conocidas por sus impresionantes olas (paraíso para los surfistas), las cuáles podrían llegar a causar daños a la pista con el paso de los años. Además, Asturias es famosa por sus fuertes corrientes y marejadas, con lo que supondría construir la pista con fundamentos lo suficientemente resistentes para aguantar tales fuerzas.

Pasando a las islas Canarias, el aeropuerto del Hierro también fue descartado por 2 motivos diferentes. El primero fue, de nuevo, por la capacidad ya que el aeropuerto alojó en el año 2018 a 247.203 pasajeros con una sola pista, mientras otros aeropuertos españoles acogieron a más del triple de pasajeros. Al no tener previsto grandes incrementos de pasajeros en los próximos años, no era viable la construcción de una segunda pista en el aeropuerto canario.

Pero el motivo de peso por el cuál se concluyó en el descarte de este candidato, fue la insuficiencia a nivel infraestructural del aeropuerto. Actualmente, el aeropuerto dispone de calles de rodaje casi inexistentes y de una única terminal bastante pequeña. Los trabajos adicionales de ampliación de la terminal, añadidos al hecho de el rediseño de las calles de rodaje, complicaban demasiado el proyecto para un aeropuerto, que realmente, no sufre problemas de capacidad.

El último candidato descartado en este análisis de viabilidad, fue también en las Canarias, en concreto, el aeropuerto de Fuerteventura. En realidad, no se tuvieron importantes motivos por el que se llegó a tal conclusión, pero al haber llegado a la última lista de candidatos con dos aeropuertos canarios, se concluyó que el de Fuerteventura era el tercer mejor candidato en Las Canarias, así que 2 aeropuertos ya eran suficientes. Por otra banda, el oleaje de Fuerteventura es uno de los más fuertes y contundentes en las islas. Otro punto a tener en cuenta, fue el número de pasajeros con el que cerró el año 2018, el cuál fue de 6.118.893. Dicha cifra fue superada por los otros 2 aeropuertos canarios que aún seguían siendo viables: Gran Canaria y Lanzarote, los cuáles obtuvieron 13.573.242 y 7.327.019 de pasajeros respectivamente.

Referente al número de operaciones en el año 2018, Fuerteventura alojó un total de 51.541 operaciones, mientras que el de Gran Canaria tuvo 131.030 y Lanzarote 60.955.

Como resultado de este primer análisis de candidatos, se ha podido concluir que los 4 aeropuertos españoles mejor preparados y acondicionados para la construcción de una pista adicional sobre el mar, son:

Tabla 1.1. Candidatos finales para construir la pista sobre el mar

AEROPUERTO	LOCALIZACIÓN	OACI	IATA	PISTAS
Gran Canaria (Gando)	Telde e Ingenio (Las Palmas)	GCLP	LPA	2
Ibiza (Es Codolar)	San José (Baleares)	LEIB	IBZ	1
Palma (Son Sant Joan)	Palma de Mallorca (Baleares)	LEPA	PMI	2
César Manrique Lanzarote (Guasimeta/San Bartolomé)	San Bartolomé (Las Palmas)	GCRR	ACE	1

Factores como la situación geográfica respecto al mar y la capacidad del aeropuerto, teniendo en cuenta el número de pasajeros y operaciones al año, han sido vitales en la decisión para descartar candidatos de la lista inicial de aeropuertos. Dichos factores son necesarios, pero no únicos a la hora de tomar una decisión definitiva ya que influyen otros numerosos elementos.

Más adelante en el proyecto, en un apartado por separado, se detallará la elección del mejor candidato de entre estos 4 aeropuertos. Apartado en el cuál, se realizarán rigurosos estudios donde se ampliará el área de análisis y se tocarán temas de varios ámbitos como medioambientales, económicos, políticos, etc.

1.2. Comparativa

Partiendo de la lista inicial de 15 aeropuertos candidatos, se concluyó en el último apartado que los aeropuertos más óptimos para acondicionar una nueva pista sobre el mar son Gran Canaria, Ibiza, Lanzarote y Mallorca. Al no poder aplicar los factores que se hicieron servir anteriormente, se realizará un estudio en profundidad abarcando temas políticos, sociales y ambientales, entre otros. Para realizar dicho cometido, se aplicará el análisis PESTEL, el cuál se explicará al detalle más adelante. Además, para concluir el apartado, se representará una tabla mostrando un resumen del análisis elaborado con la finalidad de poder decidir, finalmente, qué aeropuerto es el mejor candidato de entre las 4 posibilidades.

1.2.1. P.E.S.T.E.L.

Tal y como se ha comentado en el anterior párrafo, para realizar la decisión del mejor candidato de manera técnica, se aplicará el famoso análisis PESTEL. Como su propio nombre indica, a partir de las siglas, se puede deducir que dicho método analiza factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales.

El análisis PESTEL suele usarse, mayormente, a la hora de ayudar a crecer o crear una compañía con tal de conocer el entorno. Es una herramienta estratégica útil para entender el crecimiento o decrecimiento del mercado, la posición del negocio, el potencial y la dirección de las operaciones. El uso de esta herramienta para el caso de decidir la mejor opción donde construir una pista adicional sobre el mar no es obvio. Esta herramienta se ha aplicado en el

proyecto ya que dota de una visión general de los diferentes factores que pueden afectar a la hora de modificar la infraestructura de un aeropuerto. Son factores que a simple vista no pueden notificarse, pero gracias a este estudio se tienen en cuenta y ayudan en la decisión final cuando ya se han aplicado otros factores imprescindibles en la toma de decisión.

De esta manera, se abarcarán todos los aspectos que podrían verse afectados a la hora de construir una nueva pista y las consecuencias que ésta tendría en los diferentes ámbitos. También sirve como medida preventiva de posibles futuras complicaciones y alteraciones que podrían afectar negativamente al proyecto ya finalizado.

Tabla 1.2. Ámbitos de abarcamiento del P.E.S.T.E.L.

P Político	E Económico	S Social	T Tecnológico	E Ambiental	L Legal
Partido político Leyes	Impuestos Tasas Ordenanzas Paro	Cliente Edades población Inmigración Turismo	Tipos de aeronave Innovación en aeropuerto Medio de transporte Nuevas rutas	Contaminación Impacto medio-ambiental Emisiones Ruido	Geopolítica Plan director Usos del suelo Territorio

La tabla 1.2. representa, en resumen, los campos que abarca cada diferente ámbito que forma parte del análisis PESTEL.

En el anexo 16 se profundiza en cada uno de éstos ámbitos para dar más detalle de qué trata el análisis y además, se incluye qué aspectos son los más importantes y los que se tendrán en cuenta a la hora de decidir el mejor candidato.

1.2.2. Tabla comparativa

Después de realizar una explicación detallada de cada una de las partes que conforman el análisis PESTEL y de comprender la utilidad de dicho estudio con tal de realizar la decisión del mejor candidato para el proyecto, se pasará a profundizar en cada uno de los 4 mejores candidatos que quedaron resultantes anteriormente en el proyecto. Este último análisis se realizará a partir de una tabla constituida por 8 preguntas que comprenden todas y cada una de las partes del PESTEL. Son preguntas las cuales se responden en afirmativo o negativo referentes a cómo afectaría la construcción de una nueva pista sobre el mar en cada locación.

Tabla 1.3. Preguntas genéricas del P.E.S.T.E.L.

	Ibiza	Mallorca	Lanzarote	Gran Canaria
¿Posible construcción de pista sobre el mar?	SÍ	NO	SÍ	SÍ
¿Afectación al medio ambiente?	SÍ	SÍ	NO	NO
¿Necesidad de una pista (creciente demanda)?	SÍ	SÍ	SÍ	NO
¿Base militar disponible?	NO	SÍ	NO	SÍ
¿Incorporación energías renovables?	NO	SÍ	SÍ	NO
¿Afectación de ruido a los vecinos?	NO	SÍ	SÍ	NO
¿Problemática ley del suelo?	NO	SÍ	SÍ	NO
¿Subvención de AENA?	NA	NA	NO	NA

Las preguntas fueron escogidas por criterio de criticidad e importancia a la hora de realizar el proyecto de construcción de una nueva pista en el aeropuerto. Por lo que aspectos como la afectación del ruido a la población cercana al aeropuerto, el impacto medioambiental que supondría la construcción y conocer la demanda futura de pasajeros son puntos clave a la hora de elegir el mejor candidato. Los ámbitos sociales y medioambientales son cubiertos con estas tres preguntas. Conocer si existe una base militar en el aeropuerto, la ley del suelo y la posible subvención de AENA al proyecto son aspectos enfocados a las partes legal, política y económica, tres de los seis factores del PESTEL.

La primera de las preguntas está destinada a resolver el aspecto tecnológico, ya que se debe de conocer si el aeropuerto está lo suficientemente preparado para acoger una nueva pista y si dispone de los medios adecuados para realizar este proyecto de tanta envergadura. Por lo que conocer si el aeropuerto está dispuesto a acondicionar sus instalaciones para mejorar los transportes, si éste ha sido recientemente renovado y si nuevas tecnologías han sido implantadas en él ayudan a decidir si realmente es un buen candidato o no.

Por último, siguiendo con el aspecto medioambiental ya mencionado, se encuentran las energías renovables. Con tal de obtener un buen y correcto rendimiento del aeropuerto y reducir gastos e impacto al medio ambiente, es favorable el uso de energías renovables en el aeropuerto (aunque sea una pequeña cantidad). Permite la facilidad al implantar infraestructuras e instalaciones necesarias para recoger y utilizar energías renovables. Es un punto clave en el estudio, ya que, por un lado, el tercer capítulo del proyecto trata de la implantación de este tipo de energías en el aeropuerto elegido. Por otro lado, las energías no renovables no son eternas, lo cuál requiere de la implantación de las renovables en todo lo posible. En la actualidad, ya existen aeropuertos verdes que utilizan las energías renovables para ayudar al aeropuerto, con lo que no supone un reto intentar introducirlas en más aeropuertos.

Analizando los resultados de la tabla para cada uno de los aeropuertos, se obtendrá el mejor candidato para implantar el proyecto. Se pasará a analizar cada uno de los aeropuertos para argumentar las respuestas mostradas dentro de la tabla.

1.2.2.1. *Palma de Mallorca*

El aeropuerto de Palma de Mallorca notifica crecimientos en el número de pasajeros año tras año. El ejemplo más reciente, fue el incremento en un 4% que sufrió del año 2.017 al 2.018, el cual pasó de 27.970.656 pasajeros a 29.081.787. Este dato, observando el histórico de demanda del que dispone el aeropuerto, lo convierte en un buen candidato ya que la construcción de una nueva pista ayudaría a reparar el problema de capacidad.

El aeropuerto construyó una segunda pista y un módulo interislas (edificio de embarque de vuelos interislas) en 2.001 y 2.003 respectivamente. Aunque la terminal más reciente que dispone el aeropuerto sea antigua (inaugurada en 1.972), Aena invertirá 559 millones de euros para diversas mejoras en el aeropuerto con tal de modernizarlas. Los aspectos recién mencionados parecen valorar el aeropuerto de Mallorca como un potencial candidato, pero los aspectos medioambientales se posicionan en su contra. Pese a que el aeropuerto de Mallorca dispone de vehículos eléctricos por la zona aire y de otros factores relacionados con las energías renovables, éste se encuentra un poco alejado de la costa, por lo que la afectación en el terreno a la hora de construir la nueva pista sería bastante grave. El área que separa la zona aire del aeropuerto con la costa, está urbanizada por hoteles, zonas de ocio, restaurantes, etc., por lo que diseñar la pista de tal manera que se redujeran las molestas a los habitantes, sería casi imposible. La conexión con la costa por la zona cercana a la ciudad, está protegida ya que se encuentra una reserva natural, aspecto que convierte inviable la construcción de una pista sobre el mar. Además, el ruido también estaría presente y los vecinos se posicionarían en contra del proyecto. Por todos estos factores, el aeropuerto de Palma de Mallorca ha sido el primero en ser descartado.

1.2.2.2. *Ibiza*

Empezando por el crecimiento de la demanda de pasajeros, el aeropuerto de Ibiza sufrió un crecimiento de un 6,6% al pasar del año 2.017 al 2.018 en el número de pasajeros, con lo que resolver el probable futuro problema de demanda construyendo una pista sobre el mar es una buena opción.

La afectación al medio ambiente es relevante en este aeropuerto, ya que se encuentra en el parque natural de Ses Salines. Aunque la infraestructura actual no afecte al medio ambiente, la construcción de una nueva pista debería de pasar por muchos controles y estudios con tal de que el proyecto sea aceptado. La zona del aeropuerto próxima a la costa (donde se construiría la pista) no está urbanizada en gran medida, por lo que el ruido no sería un grave impedimento para el proyecto.

Por otro lado, Aena anunció una inversión de 25 millones de euros con el fin de mejorar el aeropuerto de Ibiza. Aunque la modernización de las infraestructuras en el aeropuerto sean atractivas a la hora de escoger candidato, por temas medioambientales, se descarte esta opción ya que la aprobación del proyecto se enfrentaría a los múltiples defensores del parque natural, lo cuál dificultaría el progreso del proyecto. Otro motivo de descarto es la poca integración de energías renovables que tiene el aeropuerto en la actualidad. Sin un punto de partida para realizar estos cambios, resulta difícil encarar la implementación de los equipos necesarios para adoptar energías renovables en el aeropuerto.

1.2.2.3. *Gran Canaria*

El primer factor visible a la hora de analizar este aeropuerto, fue que dispone de 2 pistas. Una de ellas es utilizada exclusivamente por los aviones militares (ya que la base militar se encuentra allí), excepto en caso de gran demanda por lo que la pista principal sola no puede acomodar a todas las aeronaves. Viendo este hecho, el aeropuerto de Gran Canaria fue descartado. Además, el proyecto de una tercera pista fue ya descartado en el año 2018 por parte de Aena [14], ya que no se justificaba la necesidad de una tercera pista. El aeropuerto aún dispone de un 30% de capacidad para alcanzar la máxima. Aún así, el aeropuerto fue ampliado recientemente (en 2014) gracias a la inversión de 200 millones de euros por parte de Aena.

En el aspecto de cifras, la demanda de pasajeros aumentó un 3,7% del año 2017 al 2018 pasando de 13.092.475 pasajeros a unos 13.573.242.

Respecto a temas medioambientales, la pista tiene viabilidad de colocarse en paralelo a las dos ya existentes ya que conecta directamente con el mar. El ruido puede ser un problema, ya que cerca de la posible nueva pista sobre el mar, se haya una urbanización los cuáles sería probablemente afectados por el ruido de las aeronaves.

1.2.2.4. *Lanzarote*

Teniendo una visión general de las 8 preguntas totales de la tabla, se notifica que el aeropuerto de Lanzarote es el aeropuerto que obtiene las mejores respuestas, es decir, es el candidato que se encuentra en las mejores condiciones para acondicionar una pista en el mar de entre los cuatro finalistas. El primer aspecto referente a la viabilidad en la construcción de la pista, es afirmativo, ya que la situación actual del aeropuerto es óptima para acondicionar una pista sobre el mar.

Esta afirmación viene acompañada de la afectación del medio ambiente. El aeropuerto se encuentra muy cercano a la línea de costa, además, el pequeño margen desde la zona aire hasta el mar se encuentra sin urbanizar, por lo que realizar la conexión de la pista sobre el mar con tierra, no comportará conflictos con otros sectores.

Este hecho también impacta sobre la afectación del ruido a los vecinos de la zona, ya que la zona de costa no estaría afectada por el ruido. Sin embargo, la pista actual afecta a viviendas cercanas al aeropuerto. Aena ha elaborado un plan contra el ruido de los aviones, lo cual es positivo ya que, en un futuro cercano, el ruido no será un problema. Además, con el nuevo proyecto de pista sobre el mar, impondría realizar otro plan el cual dependería del realizado actualmente y no sería ninguna novedad porque se tendría una referencia anterior.

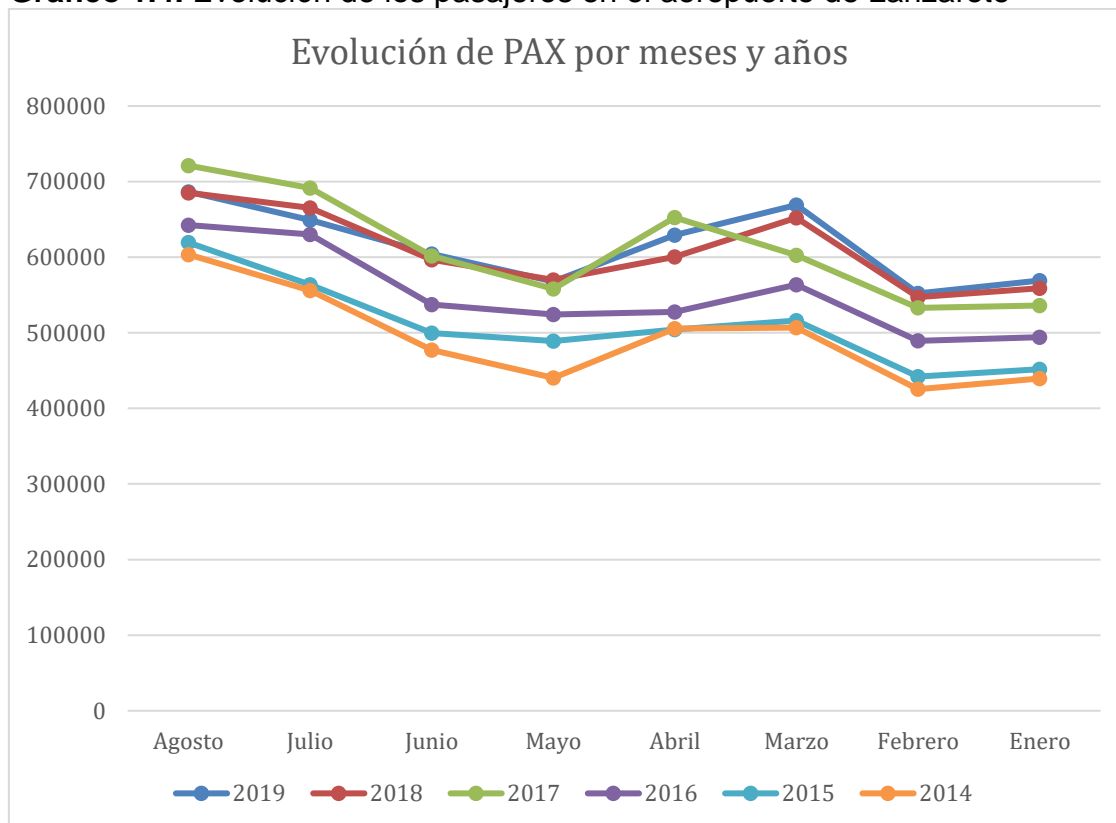
El aeropuerto de Lanzarote no dispone de base militar en sus instalaciones, por lo que no dificulta los temas de cálculos de capacidad para el uso de las pistas (ya que, al haber base militar, los aviones comerciales han de compartir pista con las aeronaves militares).

Existe la necesidad de construir una nueva pista a causa de los posibles futuros problemas de capacidad que pueden ser causados en la isla. Después de recopilar los datos de números de pasajeros en el aeropuerto de Lanzarote para

los últimos 6 años en el periodo de enero a agosto proporcionados por Aena, se obtiene la tabla del anexo 15.

Ilustrando la tabla de manera gráfica, se obtienen los siguientes resultados.

Gráfico 1.4. Evolución de los pasajeros en el aeropuerto de Lanzarote



Se puede observar como el número de pasajeros no sigue un patrón constante, pero aún así, se puede distinguir la tendencia que se sigue cada mes. Es notable la diferencia de demanda que ha habido entre los años 2014 y 2019, lo que supone un gran crecimiento en solo 5 años. Entre los años 2017 y 2019 hay una gran variación a lo largo de los meses, sin embargo, el número total de pasajeros al año, no ha parado de aumentar.

Otro aspecto muy favorable para la elección de este candidato como el mejor, fue el hecho de que Lanzarote está considerado como aeropuerto verde. Su sostenibilidad, hace que el aeropuerto de Lanzarote facilite la incorporación de más energías renovables en él. Más adelante, el documento se centra en este tema con profundidad.

Por último, con respecto a la subvención de Aena, se conoce que Bruno Perera realizó un estudio [15] sobre la posibilidad de construir una pista sobre el mar en Lanzarote, pero de momento, no ha sido aceptada por parte de Aena.

En el anexo 17 se muestra en detalle el análisis para cada uno de los ámbitos del P.E.S.T.E.L. para cada uno de los cuatro candidatos con tal de justificar los resultados mostrados en la tabla comparativa.

En conclusión, el desarrollo elaborado en este apartado sumado a la información proporcionada en el anexo adjuntado al final del documento, finalizan con la elección del aeropuerto de Lanzarote como el mejor candidato para construir una pista sobre el mar. Los puntos más relevantes para tomar la decisión han sido, en resumen, la situación geográfica del aeropuerto, el plan que tiene el aeropuerto para reducir ruidos en el entorno y el hecho de ser un aeropuerto verde.

1.3. Aeropuerto de Lanzarote

Después de haber escogido el aeropuerto de Lanzarote como mejor candidato de entre la amplia selección de partida para implementar una pista sobre el mar aplicando numerosos criterios, este tercer apartado está dedicado al estudio del aeropuerto como tal. El apartado consta de 2 subapartados, en el primero se realizará un análisis exhaustivo de la demanda, la capacidad y las demoras que sufre el aeropuerto canario actualmente, de manera similar a la elaborada en el apartado 1.1.1. donde se habló de estos tres factores, pero a nivel nacional dando una visión general del tráfico en los aeropuertos españoles. El segundo apartado se centrará en analizar y calcular las previsiones de capacidad y demanda para el aeropuerto canario para los próximos años hasta el 2030. Dicho estudio de predicciones futuras es esencial a la hora de determinar la viabilidad y necesidad de aplicar la solución de mejora.

El objetivo de esta parte del trabajo consiste en conocer detalladamente los posibles problemas de tráfico que sufre el aeropuerto en la actualidad para poder así aplicar la solución de la construcción de la pista sobre el mar de la manera más eficiente posible y de ver como progresaría el aeropuerto si no se tomará ninguna medida al respecto.

El aeropuerto César Manrique Lanzarote, con código IATA ACE y código OACI GCRR, está situado, como su propio nombre indica, en la isla canaria de Lanzarote y se encuentra a 5 km de Arrecife, capital de la isla del archipiélago canario en la provincia de Las Palmas. Dispone de una elevación de 14 metros y fue construido en 1946 [16].

Las islas Canarias se han mantenido todo el año 2019 entre los 6 principales destinos turísticos en España [17]. La tabla del anexo 18 muestra los números de turistas según comunidad autónoma de destino principal proporcionado por la INE.

Un estudio más profundo sobre el turismo en las Canarias, puede ser consultado en el apartado 1.4.

Se pueden observar gráficamente los datos del anexo 18 en el anexo 19, donde es interesante notificar el casi constante número de turistas que visitan las islas canarias durante los primeros 8 meses del año. Mientras otros destinos como Mallorca o Cataluña son estacionales y tienen un pico de turismo en los meses con mejores condiciones meteorológicas, las Canarias se mantiene en el mismo rango de turistas durante todos los meses.

El aeropuerto de Lanzarote constituye el eje básico de la economía de la isla, ya que por él se reciben la mayoría de turistas nacionales e internacionales.

Además, dado al hecho de insularidad del aeropuerto de Lanzarote, éste es la principal vía de comunicación con el exterior.

Tradicionalmente ha tenido un importante tráfico chárter, pero actualmente la mayor parte del tráfico es regular e internacional.

La infraestructura del aeropuerto de Lanzarote consta de 2 terminales de pasajeros, 1 pista de aterrizaje de 2.500 metros, 1 terminal de carga, 49 mostradores de facturación, 17 puertas de embarque y 2 aparcamientos.

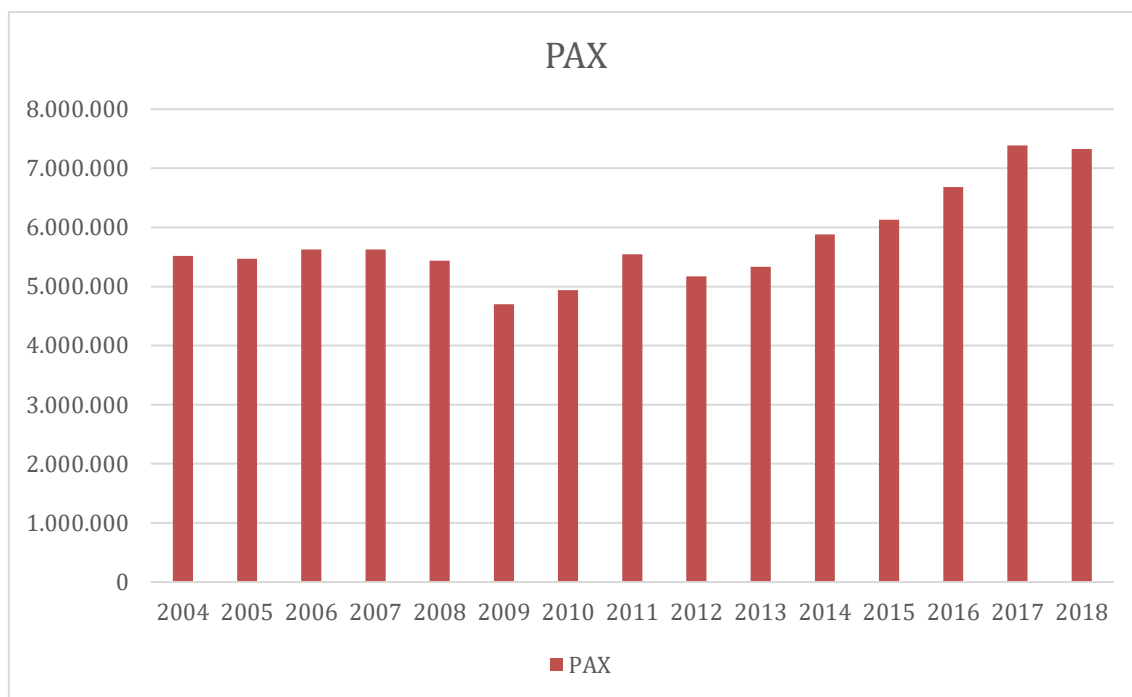
1.3.1. Situación actual

Con la ayuda de los datos proporcionados por Aena, se elaborarán tablas y gráficos que darán soporte a la información mostrada. Se recogerán datos sobre la demanda, la capacidad y las demoras, con el fin de comprender la situación actual en el aeropuerto de Lanzarote y comprobar si las condiciones son las óptimas para acomodar una pista sobre el mar.

1.3.1.1. Demanda

El primer aspecto a estudiar, es la demanda de pasajeros en el aeropuerto. Conocer la situación de la demanda a través del siguiente gráfico 1.5., permite visualizar la progresión de la demanda a través de los años en el aeropuerto canario. Esta progresión no ha parado de aumentar a partir de 2012, sin embargo, se notifican dos decrecimientos notables en los años 2009 y 2012.

Gráfico 1.5. Demanda de pasajeros en Lanzarote



Lanzarote se encuentra entre los 10 aeropuertos que reciben a más pasajeros durante el año según datos de Aena. Esta demanda de pasajeros tiende a aumentar gracias al atractivo turístico de la isla canaria.

El gráfico del anexo 20 muestra como el número de pasajeros en el aeropuerto de Lanzarote ha ido creciendo constantemente con el paso de los diferentes meses dentro de un periodo de 10 años (desde el 2009 hasta el 2019). La distribución dentro de cada año, permanece constante, es decir, que el mes con más pasajeros siempre es agosto seguido de julio y que el mes con menos afluencia durante los 8 primeros meses del año es febrero en general (con mayo muy de cerca).

Referente a las operaciones de aeronaves realizadas en el aeropuerto de Lanzarote, se obtiene el gráfico del anexo 21, muy similar al de pasajeros.

De nuevo, se puede observar la constancia para los meses de todos los años, además del crecimiento positivo de operaciones que está generando el aeropuerto. A pesar de la pequeña caída en 2013, el número de operaciones no ha hecho más que aumentar con el paso del tiempo.

1.3.1.2. Capacidad

Se entiende como capacidad Aeroportuaria el número máximo de operaciones de aeronaves, en periodos de tiempo específicos, que es capaz de ser atendido por la infraestructura aeroportuaria.

La capacidad aeroportuaria dispone de 5 diferentes variantes.

La primera, la capacidad dinámica, se define como la capacidad máxima de procesamiento de personas a través de un sistema por unidad de tiempo.

La capacidad estática se expresa como el número de pasajeros que se pueden acomodar en cualquier momento en un área o instalación.

La capacidad sostenida es la capacidad general de un sistema para atender la demanda de tráfico durante un período de tiempo sostenido con los parámetros de tiempo y la superficie correspondiente a un determinado nivel de servicio. Es, por lo tanto, una medida de las capacidades estáticas y dinámicas combinadas de los elementos de procesamiento. Es costumbre que la capacidad sea calculada de acuerdo con el nivel de servicio C.

La capacidad máxima, es aquella que se refiere al tráfico máximo que se puede servir en una unidad de tiempo, pero no por un período más largo de acuerdo con los requisitos de seguridad e independientemente de la demora ocurrida o el nivel de servicio prestado.

Por último, la capacidad declarada se refiere a los límites específicos de las capacidades, en términos numéricos, recursos e instalaciones individuales. Estas capacidades se crean en el desarrollo de programas de vuelo.

Un análisis de capacidad de una infraestructura compleja debe abordarse sistemáticamente. La capacidad del aeropuerto está dada por el más restrictivo subsistema. Un subsistema con exceso de capacidad puede saturar el subsistema. Se logra un rendimiento óptimo cuando todos los subsistemas operan con velocidades de proceso equilibradas.

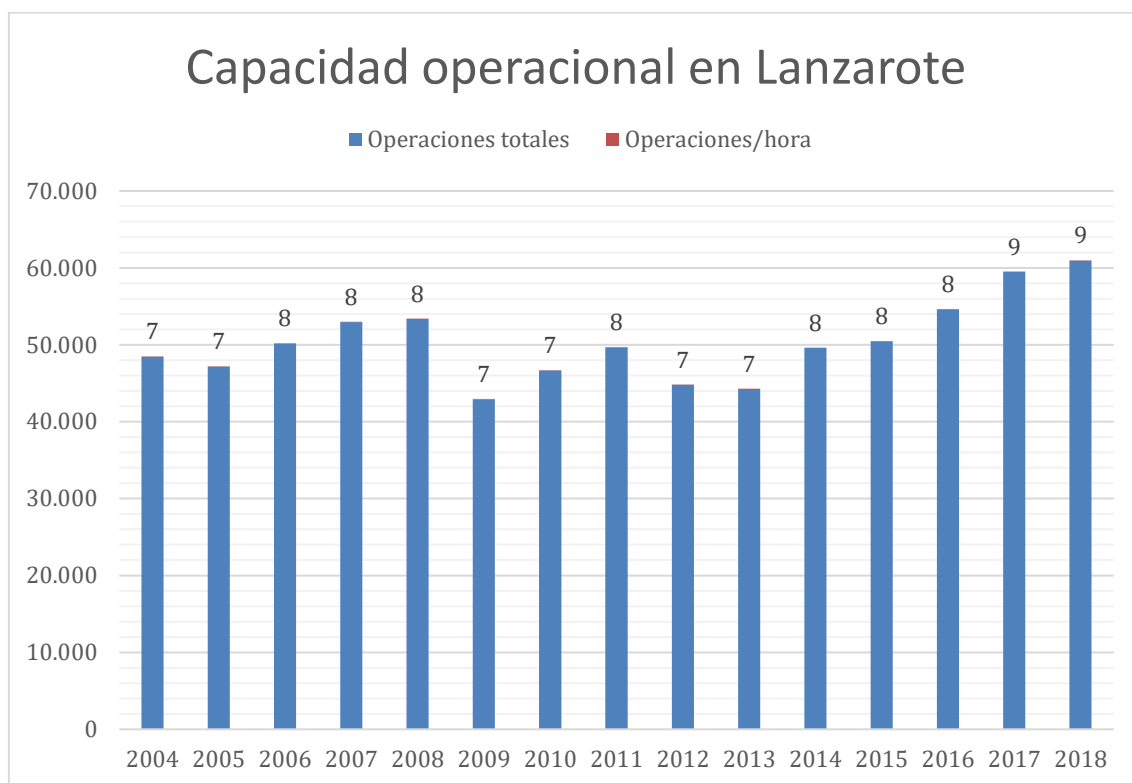
Numéricamente, la capacidad se calcula a partir de la división del número de operaciones realizadas entre el tiempo.

Partiendo de tal definición y sabiendo que el aeropuerto de Lanzarote se mantiene operativo 18 horas al día, se puede calcular la capacidad en el aeropuerto. El aeropuerto de Lanzarote, acogió 60.955 operaciones en total durante el año 2018, es decir, durante 365 días, que son equivalentes a 6.570 horas aplicando la regla de que el aeropuerto abre 18 horas al día en vez de 24. A continuación, dividiendo las operaciones totales entre el número de horas en un año, se obtiene un resultado de 9,27 operaciones por hora, o lo que es lo mismo, 9 aeronaves/hora.

Dicho cálculo se ha realizado para todos los años contando desde el 2004 obteniendo el gráfico que se muestra seguidamente.

Las barras azules muestran el número de operaciones que obtuvo el aeropuerto de Lanzarote a lo largo del año mostrado en el eje horizontal. En la parte superior de la barra, se puede observar en naranja la capacidad, o lo que es lo mismo, el número de operaciones por hora.

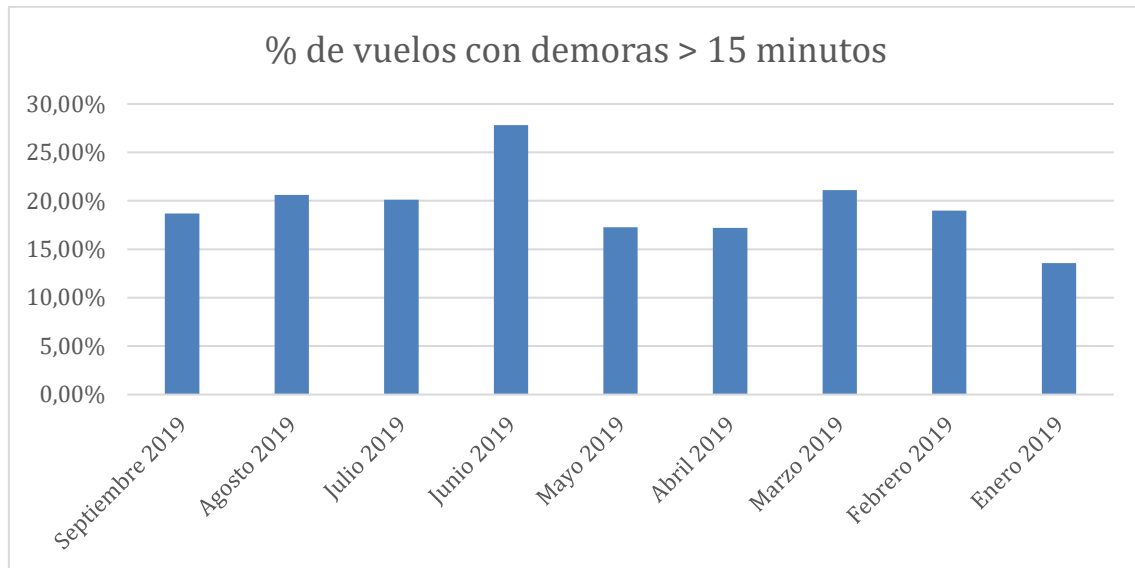
Gráfico 1.6. Capacidad operacional en el aeropuerto de Lanzarote



1.3.1.3. Demoras

Los retrasos en los aeropuertos es un factor muy importante que afecta a millones de pasajeros en todo el mundo cada día.

Gráfico 1.7. Porcentaje de vuelos con más de 15 minutos de demora en Lanzarote



La gráfica representada, muestra el porcentaje de vuelos en total que se demoraron en el aeropuerto de Lanzarote más de 15 minutos durante los meses de enero de 2019 hasta el pasado mes de septiembre. El resultado a lo largo del año 2019 es bastante irregular, como se puede apreciar en el gráfico, por lo que sería muy complicado intentar predecir este porcentaje de vuelos demorados en el futuro.

1.3.2. Predicciones futuras

En este apartado se estimará de forma cuantitativa la futura demanda de pasajeros y operaciones del Aeropuerto de Lanzarote para casos nacionales, internacionales y totales; con la finalidad de justificar la necesidad de ampliar la capacidad del aeropuerto frente a la posible problemática estimada.

El cálculo de las predicciones se harán a medio plazo (10 años), tiempo suficiente para llevar a cabo este proyecto teniendo en cuenta temas burocráticos, permisos, estudios, desarrollo, construcción y despliegue.

Los diferentes métodos de previsión que se pueden emplear para realizar estos cálculos son los siguientes:

- Por proyección de tendencias: se supone que las variables secundarias que afectaron a una variable de tráfico en el pasado siguen haciéndolo de igual manera en el futuro y por lo tanto se eliminan del análisis. Lo que se extrapola es la tendencia histórica de la variable principal. Este tipo de proyección utilizaremos para nuestro estudio.
- Previsión econométrica: se supone que las variables secundarias que afectaron a una variable de tráfico en el pasado siguen haciéndolo de igual manera en el futuro. En este caso se centra en el análisis de las secundarias, se realiza la previsión de las secundarias y a través de su relación con la principal extrapola la previsión de la variable principal.

Este tipo de previsión está fuera de nuestro foco y queda abierto a futuros estudios.

- Previsión mediante estudios de mercado: se requiere de la experiencia y criterio de la industria aeronáutica con análisis de expertos. Este tipo de previsión tampoco está en nuestro foco.

Como se ha comentado antes, las predicciones se harán por proyección de tendencias a partir de datos históricos obtenidos en la INE y Ministerio de Fomento [18]. Ver anexo 22.

La tendencia histórica se modelizará utilizando diferentes regresiones que representan escenarios futuros para los 6 segmentos diferenciados:

- Operaciones totales.
- Operaciones nacionales.
- Operaciones internacionales.
- Pasajeros totales.
- Pasajeros nacionales.
- Pasajeros internacionales.

La valoración de los resultados obtenidos dependerá principalmente del coeficiente de determinación (R^2) que determina la calidad del modelo para replicar los resultados, y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por el modelo [19].

Hay que tener en cuenta que durante estos últimos 30 años se han observado caídas en las demandas en general (Operaciones y Pasajeros) debido a las crisis en el estado Español entre el año 2008-2015.

Es por ello que solamente datos de las últimos 8 años serán utilizados en vez de los últimos 29 para conseguir predicciones más fiables con la tendencia reciente que se considera optimista.

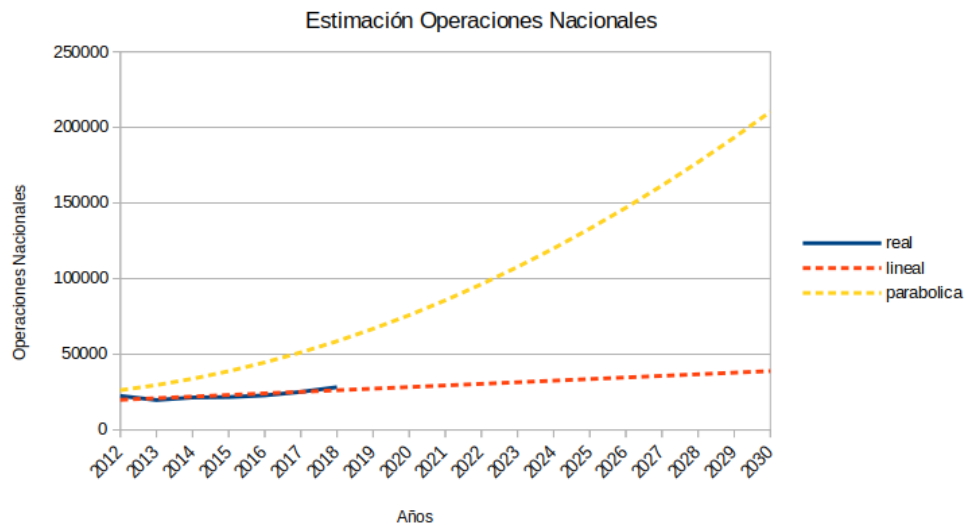
A continuación se muestran los resultados a partir de regresiones lineal, parabólica y exponencial. Ver cálculos en el anexo 23.

Viendo las estimaciones para operaciones nacionales obtenidas, la modelización que más ajusta a la tendencia de los últimos 7 años es la parabólica siguiendo el criterio basado en el coeficiente de determinación (R^2).

Sin embargo, se puede observar que la regresión lineal obtiene unos resultados que podrían encajar en una escenario más realista.

La representación de los resultados se pueden observar en la siguiente gráfica:

Gráfico 1.8. Estimaciones para operaciones nacionales



Se ha desestimado la regresión exponencial en esta representación debido a que los valores obtenidos reflejan una decaída de operaciones nacionales en 12 años con respecto a la actual. Esa situación sólo sería posible en caso de otra crisis en los próximos años, sin embargo refleja un crecimiento constante pero lento. Además la R^2 es la más pequeña de las tres estudiadas.

Se puede observar que el crecimiento lineal supone tener aproximadamente 10.000 operaciones nacionales más en 2030 con respecto a 2018.

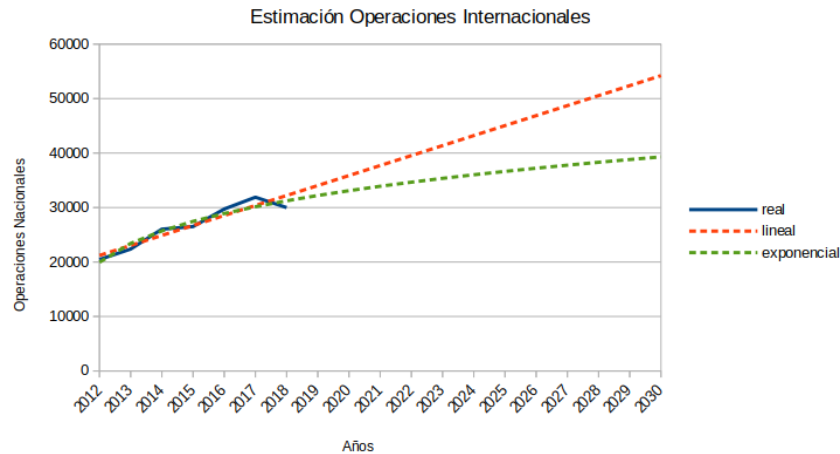
Ver anexo 24 para consultar las estimaciones operacionales internacionales.

Viendo las estimaciones para operaciones internacionales obtenidas, la modelización que más ajusta a la tendencia de los últimos 7 años es la parabólica siguiendo el criterio basado en el coeficiente de determinación (R^2).

Sin embargo, se puede observar que la regresión exponencial y lineal obtienen unos resultados que podrían encajar en una escenario más realista. Fijándonos en el coeficiente R^2 , la exponencial es la que más se ajusta por lo que será la referente para este segmento.

La representación de los resultados se pueden observar en la siguiente gráfica:

Gráfico 1.9. Estimaciones para operaciones internacionales



Se ha desestimado la regresión parabólica en esta representación debido a que los valores obtenidos representan una decaída de las operaciones internacionales, llegando a no tener ninguna en 2030. Esa situación sólo sería posible en caso de otra crisis o el cierre del aeropuerto en los próximos años.

Se puede observar que el crecimiento exponencial supone tener aproximadamente 10.000 operaciones internacionales más en 2030 con respecto a 2018.

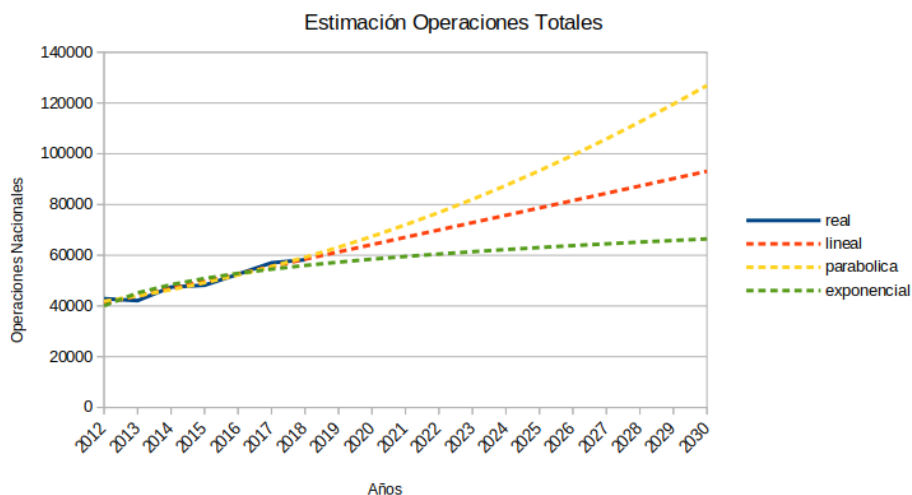
Se pueden consultar las Estimaciones Operaciones totales en el anexo 25.

Viendo las estimaciones para operaciones totales obtenidas, la modelización que más ajusta a la tendencia de los últimos 7 años es la parabólica siguiendo el criterio basado en el coeficiente de determinación (R^2).

Sin embargo, se puede observar que la regresión exponencial y lineal obtienen unos resultados que podrían encajar en un escenario más realista. Fijándonos en el coeficiente R^2 , la lineal es la que más se ajusta al modelo. Además, observando el incremento de las operaciones nacionales e internacionales, podemos esperar un crecimiento mayor que el que se estima en la regresión exponencial. Por lo que la regresión lineal será la referente para este segmento.

La representación de los resultados se pueden observar en la siguiente gráfica:

Gráfico 1.10. Estimaciones para operaciones totales



Se puede observar que las tres regresiones son optimistas a medio plazo, siendo la exponencial la más conservadora y la parabólica la más optimista.

El escenario exponencial corresponde a una posible bajada de la demanda en los próximos años debido a una crisis o regulaciones.

Se puede observar que el crecimiento lineal (referente) supone tener aproximadamente 34.000 operaciones internacionales más en 2030 con respecto a 2018.

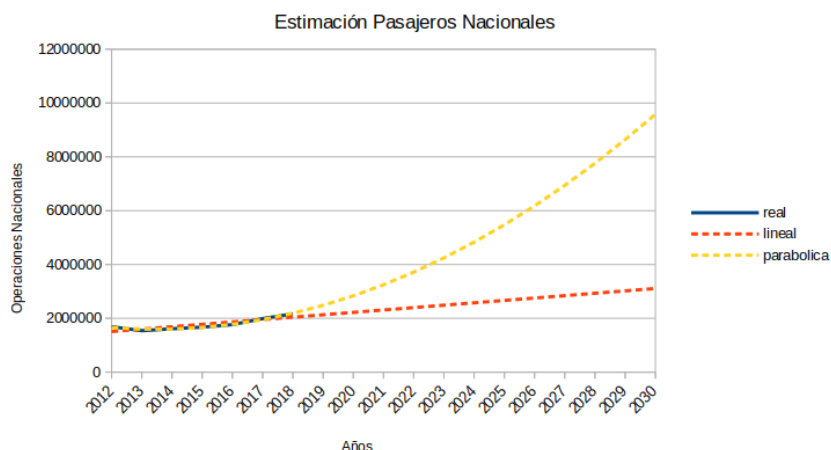
Consultar el anexo 26 para ver la tabla de estimaciones de pasajeros nacionales.

Viendo las estimaciones para pasajeros nacionales obtenidas, la modelización que más ajusta a la tendencia de los últimos 7 años es la parabólica siguiendo el criterio basado en el coeficiente de determinación (R^2).

Sin embargo, se puede observar que la regresión lineal y exponencial podrían encajar en un escenario más realista. Fijándonos en el coeficiente R^2 , la lineal es la que más se ajusta al modelo. Por lo que la regresión lineal será la referente para este segmento.

La representación de los resultados se pueden observar en la siguiente gráfica:

Gráfico 1.11. Estimaciones para pasajeros nacionales



Se ha desestimado la regresión exponencial en esta representación por el mismo motivo que en la operaciones nacionales.

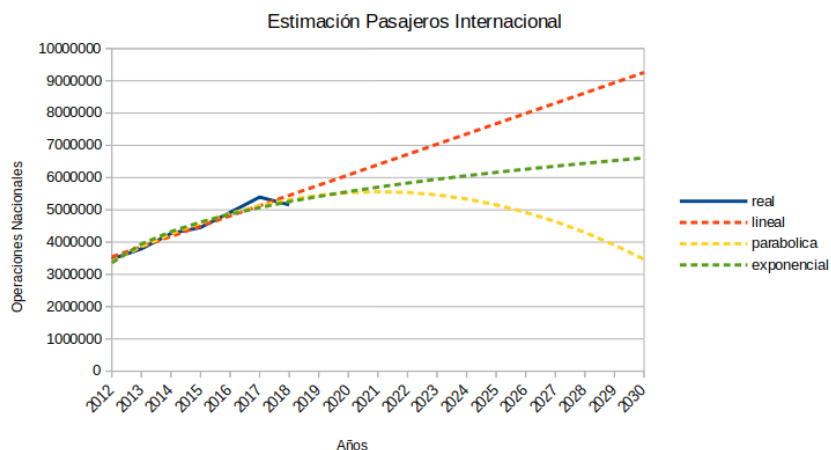
Se puede observar que el crecimiento lineal supone tener aproximadamente 1.000.000 pasajeros nacionales más en 2030 con respecto a 2018. Se puede ver la tabla de estimaciones de pasajeros internacionales en el anexo 27.

Viendo las estimaciones para pasajeros internacionales obtenidas, la modelización que más ajusta a la tendencia de los últimos 7 años es la parabólica siguiendo el criterio basado en el coeficiente de determinación (R^2).

Sin embargo, se puede observar que la regresión exponencial y lineal obtienen unos resultados que podrían encajar en una escenario más realista. Fijándonos en el coeficiente R^2 , la exponencial es la que más se ajusta por lo que será la referente para este segmento.

La representación de los resultados se pueden observar en la siguiente gráfica:

Gráfico 1.12. Estimaciones para pasajeros internacionales



Se puede observar que las estimaciones más optimistas corresponden a la lineal y la exponencial; y la parabólica corresponde a un escenario más pesimista como también pasó con las operaciones internacionales.

Se puede observar que el crecimiento exponencial supone tener aproximadamente 1.500.000 pasajeros internacionales más en 2030 con respecto a 2018.

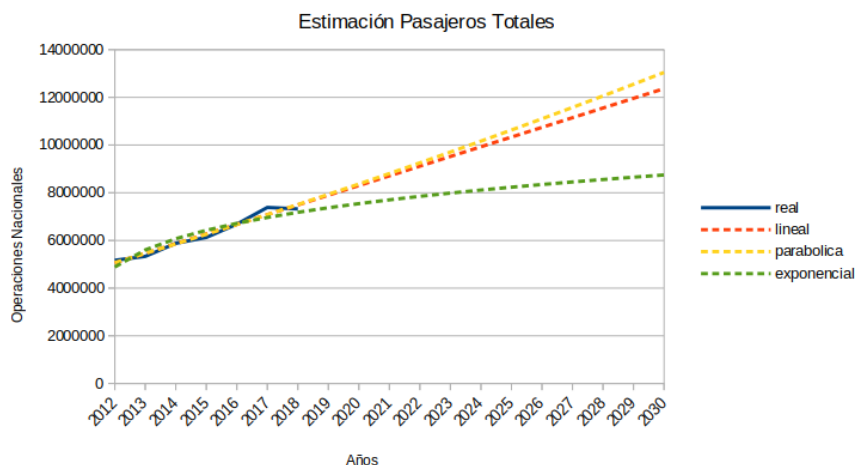
Consultar la tabla de estimaciones de pasajeros totales en el anexo 28.

Viendo las estimaciones para pasajeros totales obtenidas, la modelización que más ajusta a la tendencia de los últimos 7 años es la parabólica y lineal siguiendo el criterio basado en el coeficiente de determinación (R^2).

Sin embargo, se puede observar que en la regresión exponencial se obtiene unos resultados que podrían encajar en una escenario más realista. Por lo que la regresión exponencial será la referente para este segmento.

La representación de los resultados se pueden observar en la siguiente gráfica:

Gráfico 1.13. Estimaciones para pasajeros totales



Se puede observar que las tres regresiones son optimistas a medio plazo, siendo la exponencial la más conservadora y la parabólica la más optimista, al igual que pasaba en las operaciones totales.

Se puede observar que el crecimiento exponencial (referente) supone tener aproximadamente 1.500.000 pasajeros internacionales más en 2030 con respecto a 2018.

En conclusión, la relación entre operaciones y pasajeros es directa y siguen una tendencia parecida como se ha podido observar en las regresiones.

Teniendo en cuenta los incrementos de operaciones nacionales e internacionales, se puede esperar un crecimiento menor que en el que se estima en la regresión lineal.

Observando los incrementos de los pasajeros nacionales e internacionales, se puede esperar un crecimiento mayor que el que se estima en la regresión exponencial.

Las regresiones lineales y las exponenciales han sido las de referencia pese a tener un R^2 menor que las parabólicas, y es que el poco crecimiento en general del último año (2018) marcaban una tendencia al pesimismo siendo un punto de inflexión.

1.4. Impacto medioambiental

En este apartado se va a estudiar la posible afectación medioambiental que supondría la implementación de la nueva pista sobre el mar para el aeropuerto de Lanzarote a nivel general, con el objetivo de intentar predecir posibles conflictos y proponer medidas preventivas y/o soluciones.

Más adelante se hará un desarrollo similar cuando la localización y orientación de la pista esté complementamente definida para concretar posibles conflictos que no se hayan podido contemplar en este apartado y que se llevará a cabo en el capítulo 2 de este trabajo.

1.4.1 Estudio medioambiental en el Aeropuerto de Lanzarote

Los objetivos específicos de este estudio pueden sintetizarse en los siguientes puntos:

- Definir y valorar, desde un punto de vista ambiental, el entorno en el que se localizarán las actuaciones, entendiendo éste como el espacio físico, biológico y humano en el que se desarrollan las obras proyectadas y que es susceptible de ser alterado por las mismas.
- Prever la naturaleza y magnitud de los efectos originados por la construcción de la pista sobre el mar.
- Establecer las medidas correctoras que permitan minimizar los posibles impactos ambientales negativos.

Los principales factores medioambientales [20] que se tendrán en cuenta en este estudio serán los siguientes:

- Ámbitos de protección o interés turístico.
- Vegetación y usos del suelo.
- Fauna y Ecosistema marino canario
- Clima y meteorología
- Edafología
- Hidrología.
- Ruido
- SocioEconómico.

Ámbitos de protección o de Interés turístico [20]

La isla de Lanzarote dispone de un número de espacios de alto valor paisajístico donde los principales son:

- Montañas de Fuego.
- Monumentos al campesino.
- Mirador del Río.
- Cueva de Los Verdes.
- Jameos del agua.
- Jardín de cactus.
- M.I. Arte contemporáneo. Castillo de San José

No presentándose ninguno de ellos en el entorno aeroportuario y es por eso que nuestra solución de la pista sobre el mar no afecta directamente a ninguna zona de interés turístico ni zona protegida.

Vegetación y usos del suelo [20]

El litoral costero y el entorno aeroportuario se caracteriza por el predominio de zonas no cultivadas con abundancia de matorral e improductivos, mientras que en el interior (por encima de los 200m de altitud) alternan dichas superficies con las zonas cultivadas y algunos pastizales con las montañas y valles más húmedos.[20]

Las zonas de matorral se reparte rodeando el área que ocupa el Aeropuerto de Lanzarote y ocupa suelos poco fértiles en donde no es factible el desarrollo de vegetación. Se caracteriza por presentar períodos de gran insolación , escasez de precipitaciones y baja humedad atmosférica.

Las zonas improductivos se encuentran rodeando el aeropuerto , quedando rodeada por la zona de matorral. Son terrenos sin vegetación , con escasa fertilidad y la aridez del clima no han permitido el desarrollo de vegetación espontánea. En este grupo se incluyen las infraestructuras tales como urbanizaciones, caminos, carreteras, playas,etc.

Se observa que el impacto en la vegetación que tenga una posible conexión de la pista sobre el mar sobre el terreno aeroportuario no es muy problemática.

Fauna y Ecosistema Marino canario [20]

Pese a los parajes áridos del entorno aeroportuario , se manifiesta una rica fauna, sobre todo sabulicola o de arena, como también cabe destacar la avifauna presente en la zona de estudio.

Las habitats principales que encontramos en esta zona son:

- Bajíos costeros y playas: donde durante la bajamar se encuentran animales marinos y algas que atraen aves.
- Matorral(cardonal):que son aprovechadas por especies adaptadas a zonas áridas.
- Zonas de arenosas y llanos terroso-pedregosos:las condiciones climáticas son semejantes a las anteriores, siendo la vegetación pobre, constituyendo auténticos desiertos.

Las especies presentes son:

- Aves nidificantes como la codorniz, Alcaraván , gaviota, entre otros.
- Aves no nidificantes, y por lo tanto aves migratorias como Chorlitejo grande(Invernante y de paso), gaviota reidora y sombría(invernante), entre otras.
- Fauna introducida: cabe destacar que todos los mamíferos terrestres existentes en el archipiélago, salvo murciélagos y musarañas, han sido introducidos. Cabe destacar la cabra y el perro.
- Reptiles terrestres y anfibios que no se encuentran en nuestra zona de estudio.

Ecosistema marino canario [20]

Debido a la pendiente de los fondos marinos, las dimensiones de las plataformas insulares son escasas, limitando la superficie habitable para las especies litorales.

Por otro lado, las aguas que rodean las islas canarias son oligotróficas, es decir, de baja producción, lo que contribuye a determinar que la biomasa de cada especie sea pequeña, y por lo tanto la capacidad productiva global del ecosistema muy limitada. Se presenta fauna pelágica como fitoplancton y zooplancton tanto en las costas y en aguas más abiertas.

El impacto sobre la fauna terrestre y marina es mínima debido a su poca presencia. Sin embargo, debido a la presencia de aves migratorias , se tendría que valorar el impacto que tendría las rutas de aeronaves y las rutas de migración de las aves

Clima y Meteorología [20]

De acuerdo con la clasificación agroclimática de J. Papadakis, el área de estudio quedaría incluida en el tipo climático Mediterráneo Semiárido Subtropical:

- Tipo de invierno: Tropical medio (tp)
- Tipo de verano: Cafeto (c)
- Régimen térmico: Tierra templada(Tt)
- Régimen de humedad: Mediterráneo(me)

La meteorología juega un papel importante en las características del suelo, relieve, recursos hídricos y vegetación, es decir en la utilización del territorio.

Se puede observar que las precipitaciones son bajas en la isla en general durante todo el año. Durante el verano prácticamente no llueve (anexo 28) y las temperaturas no oscila tanto durante el año debido a las corrientes térmicas producidas por la presencia del mar que rodea la isla (anexo 28).

Respecto al viento se hablará más adelante en el capítulo 2.

Edafología

Según datos obtenidos en el plan director de Lanzarote , siguiendo el modelo de clasificación americana (Soil Taxonomy) por órdenes/subórdenes según condiciones climáticas(principalmente humedad del perfil), en la isla de Lanzarote se encuentran tres tipos de suelos:

- Entisoles: suelos comunes en el entorno aeroportuario y sin desarrollo de perfil. Se distinguen dos subórdenes: Orthents, que son suelos formados por materiales muy jóvenes sin evolución propios de climas áridos; y Psaments que son suelos formados por acumulaciones de arena.
- Inceptisoles: son aquellos suelos que están empezando a mostrar un desarrollo de los horizontes, porque su tiempo de desarrollo es bastante joven
- Aridisoles: se asocian al climas áridos, por tal razón presentan un régimen de humedad bajo, las bajas precipitaciones producen que sean suelos poco lixiviados.

Estos dos últimos no son suelos comunes en el entorno aeroportuario.

No hará falta estudio ya que que no es posible desarrollar cultivo agrónomo debido a la aridez del clima cerca del entorno aeroportuario.

Hidrología

Según datos del plan Director del aeropuerto de Lanzarote, se han inventariado alrededor de 100 pozos con una profundidad del nivel freático que oscila entre 2 y 10 m. En el aeropuerto no se encuentra la existencia de pozos siendo el nivel freático medio de 5m en las proximidades de la cabecera 03.

Lanzarote es la isla que menor extracción realiza siendo 0.27 hm³/año frente a los 226hm³/año de Tenerife y los 413hm³/año de todo el archipiélago.

Debido a la aridez del clima, el agua subterránea es clorurada sódica y otros elementos que sobrepasa los límites máximos admisibles de agua potable. Del agua recogida en precipitaciones, solo el 9% es infiltrada siendo potable el 3% (ver anexo 29).

La poca presencia en la isla de agua subterráneas, el impacto que pueda tener una construcción es mínimo.

Entorno socioeconómico

En 30 años, la población de Lanzarote se ha triplicado. Sin embargo, hay una tendencia estabilizadora (ver anexo 30). Aunque Lanzarote carece actualmente de población productiva (ver anexo 31) destaca el sector de Servicios que se lleva la gran mayoría de ocupación de la población (ver anexo 32).

El principal medio de transporte para ir a la isla es el avión con 7,3 M pasajeros, seguido del barco con 2,7 M.

Ruido

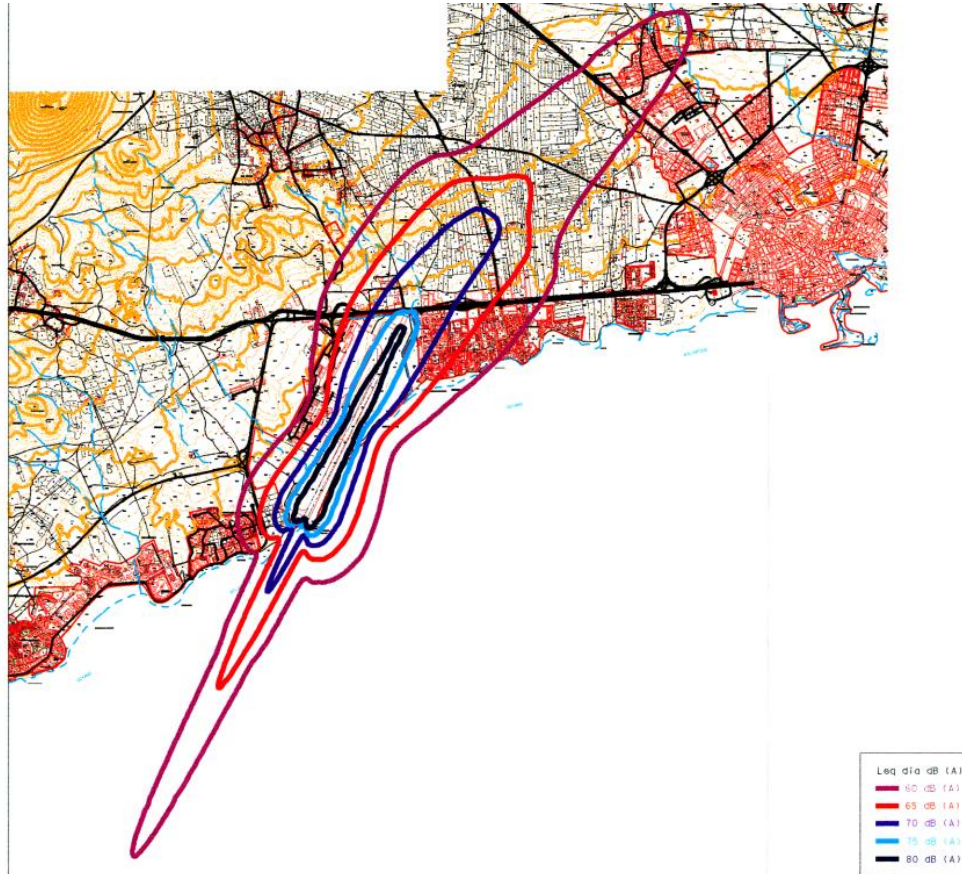


Figura 1.3. Mapa de ruido diurno en el aeropuerto de Lanzarote. Fuente: Plan Director

Se puede observar que las afectaciones de ruido alcanzan a urbanizaciones encontradas alrededor del entorno aeroportuario como La Bocaína, Los Pocillos, La Concha, entre otras. Por normativa, estas casas han sido insonorizadas con fin de reducir la contaminación acústica. El ruido superior a una intensidad de ruido de 60 dB son considerados perjudiciales para la salud[21].

Se profundizará el estudio del ruido generada por la una nueva pista en el capítulo 2.

1.4.2. Identificación y valoración de impactos (construcción pista sobre el mar)

A continuación se expondrá una valoración de posibles impactos de los principales factores medioambientales mencionados en el subapartado anterior:

Tabla 1.4. Valoración de Impactos

Factor	Impacto	Positivo	Negativo	Medidas y/o Observaciones
Ámbitos de protección o interés turístico	Bajo	N/A	N/A	No se presenta en el entorno aeroportuario
Vegetación y usos del suelo	Bajo	N/A	N/A	El terreno para construcciones es improductivo y sin problemas para usarse.
Fauna y Ecosistema marino	Medio	N/A	Reducción de presencia de aves migratorias. Afectación al Ecosistema Marino.	Estudio del impacto sobre las aves migratorias Utilización en la medida de lo posible de materiales sostenibles.
Clima y Meteorología	Medio	N/A	Aumento de Emisiones CO ₂	Utilización energías renovables. Operaciones con descenso continuo.
Edafología	Bajo	N/A	N/A	El terreno para construcción no está destinado al cultivo agrónomo.
Hidrología	Bajo	N/A	N/A	Estudio Hidrológico para

				encontrar posibles pozos.
Ruido	Alto	N/A	Contaminación Acústica en poblaciones cercanas a aeropuerto	Destinación de fondos a insonorización de casas cercanas a la nueva pista
SocioEconómico	Alto	Aumento puestos de trabajo en el sector en la construcción y servicios Aumento de la Actividad Económica	Saturación de la isla debido a la afluencia turística	Regulación del Turismo o Ampliación zona urbana.

1.5. Conclusiones

Este primer capítulo del proyecto ha servido de análisis para poder entender la magnitud del proyecto.

Para resumir el capítulo, primeramente, se ha presentado los problemas que presentan los aeropuertos nacionales y se ha decidido que la solución más óptima para resolverlos, es construir una pista sobre el mar. Se ha decidido escoger el aeropuerto de Lanzarote de entre otros muchos para acondicionar la pista. Además, se han analizado las predicciones futuras resultando en un aumento de la demanda y también, se ha realizado un estudio exhaustivo del aeropuerto de Lanzarote mostrando datos y estadísticas. Por último, se ha expuesto cómo impactaría el hecho de construir una pista sobre el mar al medio ambiente abarcando todos los ámbitos que han sido posibles.

Para terminar el capítulo, se expondrán varias de las conclusiones a las que se han llegado después de la elaboración de esta primera parte del proyecto.

La solución de construir una pista sobre el mar es bastante arriesgada en términos de dificultad, por la poca información disponible respecto al tema, la poca experiencia de los ingenieros con un proyecto así, etc. Podría haberse escogido una solución más factible que ya haya sido implantada en otros aeropuertos, por lo que su análisis no hubiese sido complicado de realizar. Algunos ejemplos de soluciones comunes son la construcción de un nuevo aeropuerto, una pista terrestre o una ampliación de la terminal, que son los proyectos que generalmente se realizan en los aeropuertos nacionales cuando hay problemas de demoras, capacidad y/o demanda. Pero la construcción de una pista sobre el mar suponía un reto donde se abarcarían varios sectores interesantes.

Realizar este proyecto a nivel nacional, es una decisión difícil de tomar (ya que ya se han descartado pistas sobre el mar en Barcelona y en el mismo aeropuerto de Lanzarote). Enfocar la construcción de una pista sobre el mar a nivel global, aumentaría la posibilidad de éxito en la ejecución. Por ejemplo, en los países árabes, la implantación de una pista de este estilo sería de interés para muchos empresarios, sobre todo en Dubái. Con grandes aportaciones económicas, el alto nivel de innovación en este tipo de ciudades, el interés turístico y el tipo de cliente que visitan estos lugares.

Por otro lado, el análisis de aumento de capacidad indica que deben de tomarse soluciones preventivas a medio plazo y, Lanzarote, no está preparado para soportarlo. No solamente hablando de capacidad aeroportuaria, sino de capacidad residencial y turística de la isla.

Por último, durante el capítulo, no se ha tenido en cuenta la gestión del tráfico aéreo, pero es un factor fundamental a la hora de estudiar las demoras y capacidades. Las soluciones que se pueden tomar en los aeropuertos con problemas de capacidad, demanda y/o demoras no solo se realizan en tierra. Varios aeropuertos europeos, han tomado medidas que se centran en la gestión del tránsito aéreo y en las rutas que toman las aeronaves.

CAPÍTULO 2. DISEÑO DE LA PISTA

2.1. Orientación de la pista

En este apartado se estimará, desde una manera general y siguiendo las consideraciones del Anexo 14 de la OACI, la orientación de la pista futura para el Aeropuerto de Lanzarote.

Los factores principales que determinan dicha orientación son las condiciones meteorológicas, los ruidos debido a las actuaciones de las aeronaves, la topografía y la orografía, que estarán en el foco principal de este estudio [22]. Por último, se emplearán métodos para el análisis y la posterior elección de orientación.

2.1.1 Factores Importantes

2.1.1.1. Condiciones Meteorológicas

El factor meteorológico más importante para la orientación de la pista recae en los vientos, pese que la visibilidad, las precipitaciones y las temperaturas cerca de la pista sean de objeto de estudio, no se encuentran en nuestro foco de estudio. Cabe destacar que para la visibilidad el refuerzo cae en mejoras de ayudas en la radionavegación tanto en el aeropuerto y el avión.

La pista debe estar orientada en la dirección del viento predominante tal que el coeficiente de utilización sea del 95% [anexo 14 OACI], evitándose siempre el viento cruzado. En la siguiente tabla se muestra la velocidad transversal máxima admisible según ICAO:

Tabla 2.1. Componente transversal de viento vs Longitud de campo de referencia

Longitud de campo de referencia	Componente transversal de viento máxima admisible
$L_{ref} < 1200$ metros	10 nudos
$1200 \leq L_{ref} < 1500$ metros	13 nudos
$1500 \leq L_{ref}$	20 nudos

Se puede observar que este último factor es tan restrictivo como el coeficiente de utilización, y es importante que ambos factores se cumplan.

2.1.1.2. Ruidos por actuaciones de las aeronaves

El nivel de ruido producido por las aeronaves y en los alrededores es un factor importante ya que conlleva problemas medioambientales: contaminación acústica.

La necesidad de hacer compatible el desarrollo del transporte aéreo con la conservación de la naturaleza y de calidad de vida en el entorno aeroportuario, precisa de un modelo sostenible.

El terreno más expuesto al ruido se encuentra debajo y laterales de las trayectorias de aproximación y despegue. La manera de cuantificarlo es en dB teniendo en cuenta el número de veces que se percibe y su duración.

2.1.1.3. Topografía

Este tipo de proyectos son complejos y de su eficiente elaboración depende en alto grado los costos, además que se trata de grandes extensiones de terreno y de tremendas explanaciones y obras civiles.

Es por ello que, respecto a la topografía, es importante tener en cuenta las siguientes actividades que se desarrollarían relacionadas con [23]:

- El levantamiento planimétrico del terreno.
- Control de obstáculos y visibilidad.
- Operaciones de replanteo y construcción de obras civiles.

Se enlazará este tema con el estudio de superficies limitadoras de obstáculos que se desarrollará a lo largo de este capítulo.

2.1.1.4. Orografía

Es importante analizar el estado y las condiciones del terreno sobre el cual se desean hacer obras para valorar su viabilidad. Sin entrar en detalles técnicos de geotecnia, en este apartado se pretende estudiar la costa de Lanzarote para saber si la calidad del terreno (fondo marino) y su profundidad es una problemática añadida a la orientación de la pista y/o imposibilita la construcción de la pista sobre el mar.

2.1.2. Estudios de los vientos

En este apartado se estudiará posibles soluciones de nuevas pistas a partir del cálculo del factor de aprovechamiento teniendo en cuenta su componente transversal para 10,13 y 20 nudos [24].

Para ello, es importante disponer de la rosa de vientos para extraer más información sobre la dirección, magnitud y frecuencia de los vientos dominantes de la zona; esto permitirá fijar una dirección de la pista donde favorezca el desarrollo de las operaciones.

Siendo rigurosos, la rosa de vientos tiene que ser obtenida a partir de mediciones en el sentido y orientación de al menos 8 veces al día por 5 años. Sin embargo, es aceptable extrapolarlo a lugares cercanos.

La información recopilada más actual que disponemos es del 2018 [25], obteniendo el contenido del anexo 33.

Se puede observar que el viento predominante es sin duda la del Norte, siendo frecuente el 46% del tiempo.

Sin embargo, no hay que olvidarse que es igual de importante el viento transversal. Pese ser la dirección más predominante la del Norte, sería incoherente situar una pista justo en esa misma dirección ya que durante el año podría haber días en los que el viento sople en otras direcciones y lo haga con unos valores medios de velocidad de vientos transversales que superen lo establecido por la OACI, según el anexo 14.

Para poder analizar mejor el factor de aprovechamiento en función del viento transversal, es importante disponer de una tabla más elaborada que nos permita evaluar tanto la frecuencia en las direcciones del viento como en la frecuencia en distintos rangos de velocidades. Un claro ejemplo se puede observar en las siguientes tablas obtenidas del Plan Director de Lanzarote:

Tabla 2.2. Frecuencia de velocidades vientos en dirección y magnitud. Fuente: Plan Director [26]

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología Aeropuerto de Arrecife (ISA de Lanzarote). Estadística sobre la dirección y velocidad del viento para una zona de observación durante un periodo de 10 años.

DIRECCIÓN	VELOCIDAD DEL VIENTO EN NUDOS													TOTAL
	Calma	1 - 3	4 - 6	7 - 10	11 - 16	17 - 21	22 - 27	28 - 33	34 - 40	41 - 47	48 - 55	56 - 63	> 63	
Calma	11,3	> <	> <	> <	> <	> <	> <	> <	> <	> <	> <	> <	> <	11,3
N	> <	0,4	6,3	8,9	10,9	6,4	3,7	1,3	0,5					38,3
NNE	> <													
NE	> <	0,1	4,4	6,3	7,9	3,8	1,7	0,5						24,7
ENE	> <													
E	> <	0,1	1,4	1,2	1,2	0,3	0,2							4,4
ESE	> <													
SE	> <	0,2	1,9	1,0	0,3	0,1								3,4
SSE	> <													
S	> <	0,1	1,5	1,0	0,4	0,2								3,3
SSW	> <													
SW	> <		0,9	0,8	0,9	0,3	0,1							3,0
WSW	> <													
W	> <	0,1	1,1	0,8	1,0	0,4	0,1							3,6
WNW	> <													
NW	> <	0,1	2,1	2,3	2,4	0,6	0,3	0,2						8,0
NNW	> <													
TOTAL	11,3	1,0	19,6	22,3	24,9	12,0	6,2	2,1	0,5					100,0

CUADRO 2.XVII.
VIENTOS REINANTES RESUMIDOS EN %
(Los valores inferiores a 0,1 se han despreciado)

Lamentablemente no se dispone de una tabla para el año 2018. Es por ello que se realizará el estudio tomando estos valores como referencia teniendo en cuenta que el resultado real puede variar si se obtuvieran datos actuales.

Se estudiarán tres de las soluciones propuestas en la Memoria de Desarrollo previsible del Plan Director para determinar su coeficiente de aprovechamiento para cada uno y elegir así la mejor dirección.

Tabla 2.3. Cuatro posibles soluciones para una nueva pista de Lanzarote.
Fuente Plan Director

SOLUCIÓN	D1 (m.)	D2 (m.)	α
S1	2.400	2.337	49,5°
S2	500	0	54,0°
S3	1.334	1.050	51,5°
S4	1.334	Sin Definir	67,5°

Donde:

D1: Distancia del punto de intersección entre pistas al umbral 21 actual, medido sobre el eje de la pista actual.

D2: Distancia del punto de intersección de pistas al umbral situado más al NE de la pista actual.

α : Orientación de la pista que se propone con respecto al Norte Geográfico

Se ha desestimado el estudio de la Solución S3 debido a que la dirección es similar a la de Solución 1. Se puede observar en la siguiente figura las 4 soluciones propuestas por el Plan Director de Lanzarote:



Figura 2.1. Soluciones para nueva pista Lanzarote

2.1.2.1. Resultados

Los cálculos y la metodología realizados se encuentran en los anexos 34 y 47 respectivamente. Los coeficientes de aprovechamiento obtenidos para las direcciones definidas S1, S2 y S4 se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 2.4. Resultados del Coeficiente de Absorción para viento transversal máximo de 10 Nudos

Pista	Calmas [%]	Absorción [%]	Total [%]
S1 (05-23) $\alpha=49,5^\circ$	31,9	38,7	70,6
S2 (05-23) $\alpha=54,0^\circ$	31,9	39,7	71,6
S4 (05-23) $\alpha=67,5^\circ$	31,9	33,3	65,2

*Actual (05-23)	31,9	53,3	85,2
-----------------	------	------	------

Tabla 2.5. Resultados del Coeficiente de Absorción para viento transversal máximo de 13 Nudos

Pista	Calmas [%]	Absorción [%]	Total [%]
S1 (05-23) $\alpha=49,5^\circ$	31,9	51,0	82,9
S2 (05-23) $\alpha=54,0^\circ$	31,9	51,0	82,9
S4 (05-23) $\alpha=67,5^\circ$	31,9	38,1	70,0
*Actual (05-23)	31,9	60,0	91,9

Tabla 2.6. Resultados del Coeficiente de Absorción para viento transversal máximo de 20 Nudos

Pista	Calmas [%]	Absorción [%]	Total [%]
S1 (05-23) $\alpha=49,5^\circ$	31,9	61,4	93,3
S2 (05-23) $\alpha=54,0^\circ$	31,9	61,4	93,3
S4 (05-23) $\alpha=67,5^\circ$	31,9	61,4	93,3
*Actual (05-23)	31,9	66,7	98,6

(*) En Año 1997, Plan Director

Según los resultados obtenidos en las tablas anteriores, ninguna de las 3 soluciones llega al 95% del coeficiente de aprovechamiento para vientos transversales 10,13 y 20.

Sin embargo, debido al cálculo a grosso modo y la falta de precisión en el método, los resultados para viento transversal de 20 nudos se pueden considerar válidos ya que se aproximan al 95% y además que también lo eran en Plan Director de Lanzarote.

Dado que el Aeropuerto de Lanzarote realiza operaciones con aeronaves de gran envergadura y se pretende con la nueva pista operar las mismas aeronaves para repartir la capacidad, la nueva pista debe de ser de un tamaño similar a la pista actual (2500m). Por lo que la longitud de pista superaría seguramente los 1500m que correspondería a vientos transversales que no pueden superar los 20 nudos.

Por consiguiente, la única tabla que es de importancia y de referencia es la de 20 nudos dejando todas las soluciones estudiadas como alternativas para la pista a construir, sin descartar la posibilidad de utilizar la misma dirección que se está utilizando en la pista actual (Pistas Paralelas).

2.1.3 Consideración del ruido

Cómo bien se ha comentado en el principio de este apartado 2.1, la contaminación acústica es un factor muy importante a tener en cuenta ya que afecta directamente a la población tanto en su salud como bienestar [27].

La procedencia de ruido recae en los siguientes factores:

- Tipología del motor que usan las aeronaves, como pueda ser turbohélice o a reacción.
- La fase de la operación.
- El empuje utilizado en las operaciones.
- Configuración operacional

Por consiguiente, las medidas preventivas dependen de cómo se gestionan los factores. Haciendo más hincapié en desarrollar rutas de aproximación y despegue que involucren la menor afectación a la población; implementación de maniobras de descenso continuo, desplazamiento del umbral de la cabecera de la pista, diferentes configuraciones de operaciones durante el día, entre otras más soluciones.

Los efectos del ruido a la población son notorios, según expertos de la Escuela de Salud Pública de Harvard y la Universidad de Boston que realizaron estudios de personas de más 65 años cerca de zonas aeroportuarias, se concluyó que se incrementó un 3,5 % el índice de los ingresos hospitalarios por enfermedades cardiovasculares por cada 10 dB de más respecto a la de una fachada tranquila [28].

Se entiende una fachada tranquila (Según la Ley 37/2003 desarrollada por el Real Decreto 1513/2005 referente a la evaluación y gestión del Ruido) [29]:

Anexo VI

“Una fachada tranquila, es decir, la fachada de una vivienda donde el valor de L_{den} a una altura de cuatro metros sobre el nivel del suelo y a una distancia de

dos metros de la fachada, para el ruido emitido por una fuente específica, es inferior en más de 20 dB al de la fachada con el valor más alto de Lden.”

La manera de cuantificar la contaminación de ruido se desarrolla en los mapas estratégicos de ruido, donde Lden es el nivel sonoro equivalente entre día, tarde y noche y de acuerdo a la UE, este indicador se puede calcular de la siguiente manera:

$$L_{den} = 10 \otimes \text{Log} \left(\frac{12 \otimes 10^{\frac{L_{Day}}{10}} + 4 \otimes 10^{\frac{L_{evening}}{10}} + 8 \otimes 10^{\frac{L_{night}}{10}}}{24} \right) \quad (2.1)$$

LDay: Nivel sonoro para el día, el horario por defecto entre 07:00-19:00 horas.

Levening: Nivel sonoro para la tarde, el horario por defecto entre 19:00-23:00 horas.

Lnight: Nivel sonoro para la noche, el horario por defecto entre 23:00-07:00 horas.

Este valor es importante para valorar la exposición de ruido de las poblaciones cercanas, ya que a partir de 60 dB se debe tomar medidas obligatorias como puede ser aislamiento de ruido en las casas.

Las exposiciones de ruido se tienen que representar en los mapas de exposición al ruido en curvas isófonas de valor como mínimo de 60,65,70 y 75 dB, véase un ejemplo en el Aeropuerto de Lanzarote en la figura 1.3 en el estudio del Impacto Medioambiental.

2.1.3.1. Valoración del ruido para las posibles pistas

El cálculo de Lden y la creación de mapas estratégicos de ruido para las nuevas pistas están fuera de nuestro foco de estudio. Sin embargo, se valorará de manera cualitativa la afectación de ruido teniendo en cuenta todas las consideraciones mencionadas en este apartado.

En la situación actual del Aeropuerto (Pista 03-21), el ruido afecta en mayor parte al Noreste del aeropuerto, donde se localiza las playas de Honda y la Urbanización de la Concha, llegando a tener valores de Lden entre 60 dB a 75 dB en algunos puntos; y al suroeste, donde se localiza Los Pocillos en el que se pueden llegar a valores de hasta 60 dB de Lden. Con respecto a los laterales no

tiene relevancia ya que no hay zona residencial al noroeste y al sureste se localiza el mar.

Se puede observar como la solución de pista paralela genera una saturación mayor de ruido en el norte del aeropuerto (Playa Honda, Urb La Concha) y en menor parte al sur (Los Pocillos).

Caso contrario pasaría en las soluciones S1,S2,S4 donde en Los Pocillos se acumularía más ruido y en nuevas zonas del suroeste, como también se introduciría nuevo ruido en zonas cerca de Arrecife (del valor de 60 db). De las soluciones S1,S2 y S4 la afectación será mayor en noreste y al suroeste si se emplea la solución S4, siendo menor en la S1.

Estas valoraciones están sujetas considerando que el ruido es repartido de manera más severa justo debajo de la pista y los extremos de la pista, un poco menos en los laterales y disminuyendo el ruido a medida que se aleja de la pista.

Pese a la primera valoración, se tiene que estudiar los posibles procedimientos SID, STAR que utilizarían estas pistas con el fin de concretar mayor las zonas de impacto y sus valores de Lden.

Observando los procedimientos actuales, ya sea por DVOR/DME o RNAV, las operaciones de despegue casi siempre afectarán al noroeste del aeropuerto, manteniendo la misma afectación por la zona de la Urb. La Concha expuestas en la primera valoración. Las operaciones de aterrizaje afectan en menor medida al suroeste dado que se aproximan por el mar. Véase anexos SID y STAR de Lanzarote.

Se considera la solución de pista paralela debido a menor impacto en el suroeste del Aeropuerto de Lanzarote y la posible problemática legal que pueda surgir en Los Pocillos teniendo en cuenta que se tendrá que hacer un estudio para reducir el ruido en Playa Honda.

2.1.4 Superficie limitadora de obstáculos

En este apartado se valorará la presencia de obstáculos alrededor de la pista que puedan poner en riesgo las operaciones de aviones previstas en la pista a construir. Para ello, siguiendo los procedimientos del Anexo 14 referente a la restricción y eliminación de obstáculos, se utilizará las superficies de obstáculos para realizar este estudio que se expone a continuación:

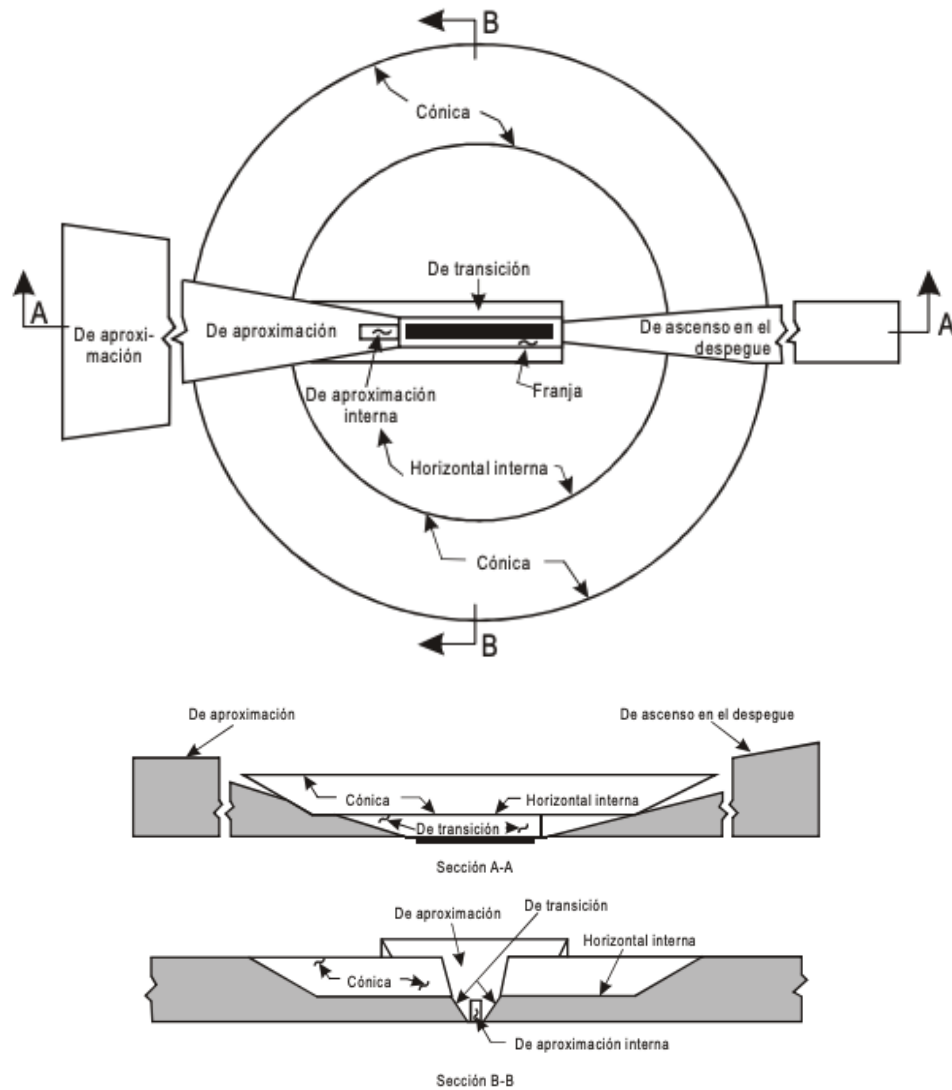


Figura 2.2. Superficies limitadoras de obstáculos. Fuente OACI ANEXO 14

En la figura anterior se ha podido observar una serie de superficies limitadoras de obstáculos que para vuelos instrumentales son solo obligatorios el estudio de:

- *Superficie cónica:* Superficie que empieza con una pendiente ascendente de 5% en el perímetro de la superficie horizontal interna.
- *Superficie horizontal interna:* la finalidad de esta superficie es proteger el espacio aéreo para el circuito visual dentro de la cual la aeronave debe volar antes de aterrizar.
- *Superficie de aproximación:* Junto a la de transición, definen la parte de el espacio aéreo que debería mantenerse libre de obstáculos para proteger los aviones durante la fase final de aproximación.

- *Superficie de aproximación interna:* es la zona más cercana a la pista en la fase final de aproximación antes del Touchdown.
- *Superficie de transición:* la finalidad de esta superficie es servir como limitadora de obstáculos para los edificios del recinto aeroportuario o sus proximidades, así como de las aeronaves estacionadas.
- *Superficie de transición interna:* Se define esta superficie para las pistas de aproximación de precisión a fin de que sirva como limitadora de obstáculos para las infraestructuras de ayuda a la navegación, las aeronaves y los vehículos que tengan que estar en cercanías de la pista.
- *Superficie de aterrizaje interrumpido:* su función es proteger una maniobra de aproximación frustrada que se realice por debajo de la altura de decisión.
- *Superficie de ascenso al despegue:* Espacio aéreo que debe quedar libre de obstáculos para no poner en riesgo la fase inicial de despegue.

Estas superficies variarán de volumen en función de la clasificación del aeropuerto. Dado que en la pista actual pueden operar aeronaves de envergadura entre 36 y 52 metros y la pista 03-21 tiene una longitud de más de 1800m, se puede aplicar una clave de referencia de 4-D para nuestro estudio siguiendo la tabla clasificación de la OACI:

Tabla 2.7. Código de referencia aeroportuario. Fuente OACI

Nº Clave	Longitud (m)	Letra	Envergadura (m)
1	<800	A	<15
2	800-1200	B	15-24
3	1200-1800	C	24-36
4	>1800	D	36-52

2.1.4.1. Valoración de obstáculos en la nueva pista

Las medidas de las superficies limitadoras de obstáculos para un aeropuerto de categoría 4-D se pueden encontrar en el anexo 44 de este trabajo y será utilizado para valorar la presencia de obstáculos en la nueva pista sobre el mar.

Tabla 2.8. Consideraciones de SLO para nueva pista

Superficies para la nueva pista	Motivo de exclusión de estudio
S. Horizontal Interna	Ya está siendo considerada por la actual Horizontal de la pista. El volumen ocupado tiene más parte en el mar, donde no se presenta obstáculos.
S. Cónica	Pasa lo mismo que en la Horizontal y se observa que no hay obstáculos tan altos en la nueva Cónica
S. Aproximación interna	Ningún obstáculo quedara cerca de la pista actual puesto que esto se tendrá en cuenta a la hora de construir la isla artificial.
S. Transición interna (laterales+extremo sur pista)	La pendiente lateral de 33% abarca 900 m aproximadamente de longitud lateral, no presentándose ningún obstáculo(mar y costa). Sin embargo, el extremo norte de la pista se tendrá que estudiar más detalladamente.
S. de aterrizaje interrumpido	Lo mismo que para aproximación interna. No se presentaría ningún obstáculo si está bien diseñado.
S. transición	No se presenta ningún obstáculo en el mar en los 400 m de los extremos de la pista.

Por lo tanto, es importante estudiar más adelante los obstáculos que se podría encontrar para la *Superficie de aproximación* y para la *Superficie de ascenso al despegue* una vez quede definida las medidas exactas de la pista.

No obstante, también hay que tener en cuenta de velar la calidad de las señales transmitidas por sistemas de comunicaciones o radioayudas para que estén en los límites requeridos según la normativa. Es por ello que se especifican una serie de superficies radioeléctricas que deben cumplir pero que no están en el foco de nuestro estudio y se puede resumir en la siguiente tabla para el caso del Aeropuerto de Lanzarote:

Tabla 2.9. Zonas de seguridad de instalaciones radioeléctricas

Instalación	Zona de Seguridad(m)	Zona de limitación de alturas (m)	Pendiente (%)
DME	300	3000	3
VOR	300	3000	3

No se prevé la instalación de otro VOR/DME, por lo que se considera que estas superficies ya están siendo cumplidas en el Aeropuerto de Lanzarote.

2.1.5. Orografía de Lanzarote

Otros de los factores importantes que influyen en el diseño de la pista, además de los hablados previamente en este apartado 2.1., es la orografía de la zona cercana al aeropuerto.

Los estudios orográficos son importantes en el proyecto para poder plantear las diversas obras de infraestructura que se elaborarán. Es indispensable conocer estas características para poder adaptarse a las subidas y pendientes del terreno.

A continuación, se mostrarán los mapas ecocartográficos del entorno del aeropuerto de Lanzarote estudiando diferentes factores enumerados por separado. El objetivo de este estudio de los mapas es realizar un soporte cartográfico detallado de la zona del aeropuerto, así como una descripción de sus comunidades naturales, paisaje y elementos patrimoniales tanto terrestres como marinos con tal de conocer la viabilidad del proyecto en las condiciones descritas. A partir de la página del gobierno de canarias [30], se han podido obtener los mapas dando la información orográfica deseada.

2.1.5.1. *Morfología marina*

En primera estancia, se tiene la morfología marina de la zona, donde dentro del campo de estudio, se tendrán como elementos:

- Sedimentos no consolidados finos-medios
- Afloramientos rocosos masivos
- Vegetación de alta densidad
- Sedimentos no consolidados muy finos

Dentro de la siguiente imagen, se representan los dos posibles escenarios de colocación de la pista aproximados, remoto, y pegado a la parte terrestre. Más adelante, en el apartado 2.3., se analizará mejor la localización y conexión.

Se puede observar la poca presencia de la vegetación de alta densidad. En cambio, la totalidad del área está poblado por sedimentos y afloramientos.

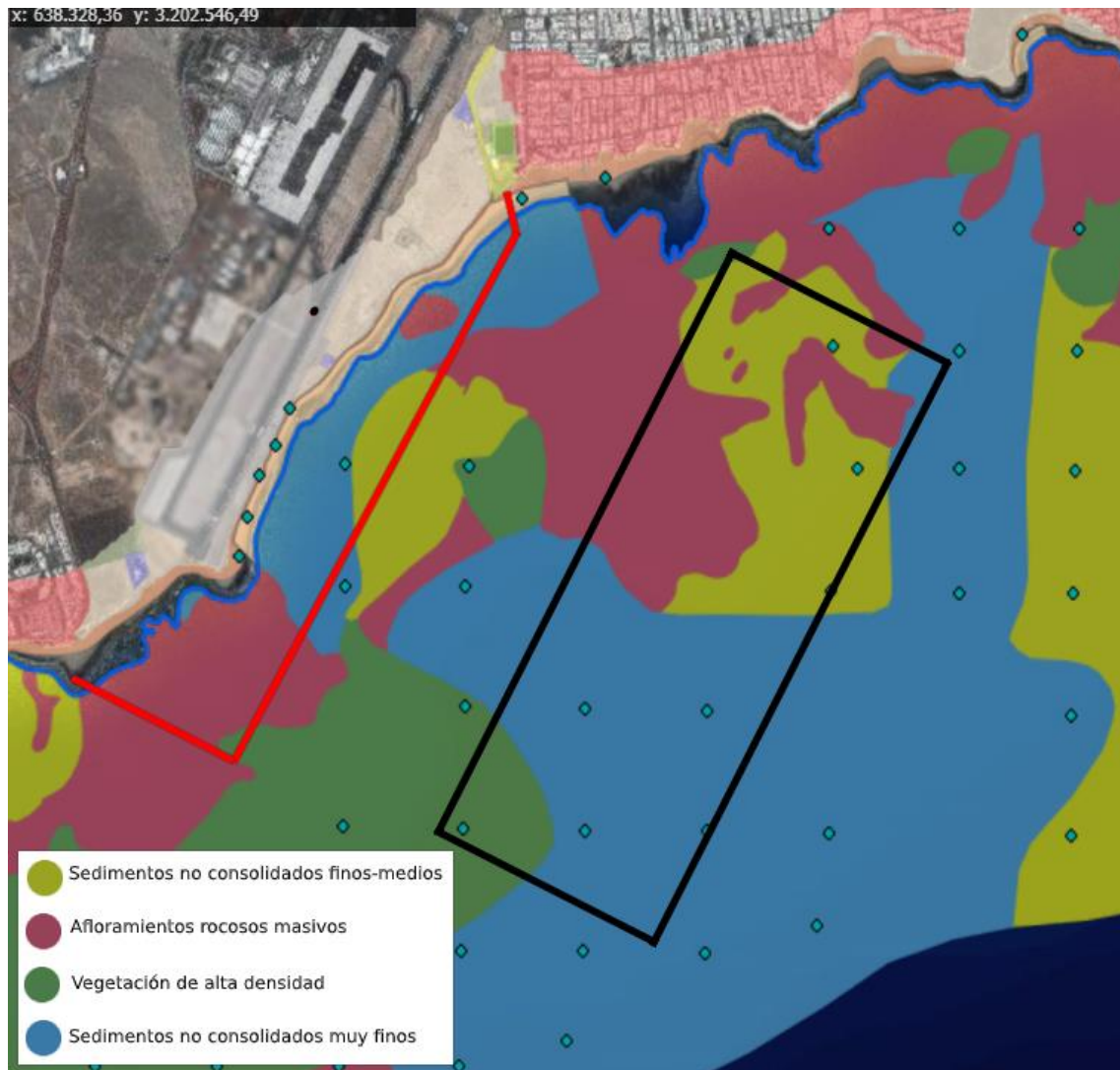


Figura 2.4. Morfología marina en el aeropuerto de Lanzarote

2.1.5.2. Batimetría

El siguiente factor a tener en cuenta, será la profundidad del mar, ya que, si el suelo marino es muy profundo, dificultaría mucho los trabajos de construcción de la isla artificial.

Como referencia, se ha tomado el aeropuerto de Kansai en Japón, con una profundidad de 18 metros del mar sobre una capa de 20 metros de arcilla.

Observando el mapa de batimetría que se muestra a continuación, se pueden ver reflejadas las profundidades del mar. En rojo, se representa el margen de profundidad, marcado, aproximadamente, a los 25 metros. Colocar la isla más allá de dicho margen, sería bastante peligroso y de elevada complejidad, por lo que el extremo de la isla estará delimitado por ese margen.

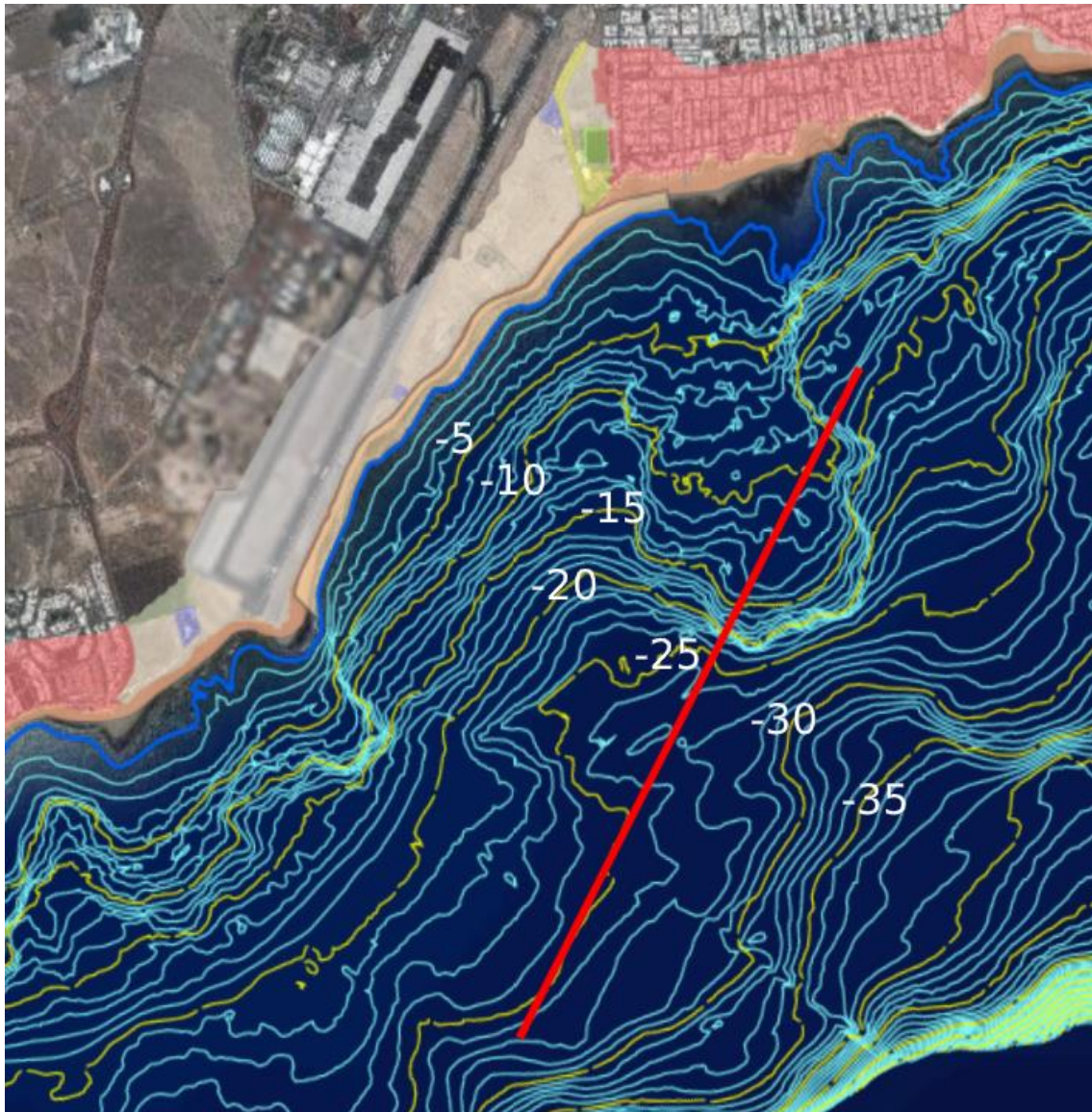


Figura 2.5. Profundidad del agua

2.1.5.3. *Nivel del mar*

Actualmente, el aeropuerto de Lanzarote tiene un nivel del mar de 14 metros [31]. Los cuáles se podrían ver incrementados hasta 16 metros a causa del cambio climático en el año 2.100 según un estudio de la revista Science.

Para terminar este apartado, se ha podido demostrar la manera de construir la pista para evitar problemas de construcción y geotécnicos, siempre y cuando se respete el margen mostrado en la imagen.

2.2. Características físicas

Los requisitos arquitectónicos y relacionados con la infraestructura que son necesarios para la óptima aplicación de las medidas de seguridad de la aviación civil internacional se integrarán en el diseño y la construcción de la pista y demás instalaciones del proyecto.

Por ese motivo, la consulta y ayuda del anexo 14 de la OACI [32] referente a aeródromos ha sido fundamental para la elaboración y desarrollo de este punto del proyecto. El uso de dicho documento tiene la finalidad de estandarizar las normas sobre aviación, y en el caso del anexo 14 en concreto, pretende garantizar el establecimiento de un régimen normativo que permita hacer cumplir de forma eficaz las especificaciones citadas en el mismo.

El objetivo de este sistema de gestión es que se disponga de un procedimiento organizado y ordenado para la gestión de la seguridad operacional del aeródromo.

Actualmente, el aeropuerto de Lanzarote dispone de una única pista de 2.400 metros de largo y 45 de ancho.

Se tomarán como referencia estas medidas con tal de tener un ejemplo real y correcto. Pero al final de este apartado, se comparará con el resultado obtenido a continuación después de aplicar el anexo 14.

Primeramente, se determinará que la clave de referencia del aeródromo de Lanzarote es 4D, argumentado en el anexo 35.

2.2.1. Pista

Como ya se ha visto en apartados anteriores, son numerosos los factores que influyen en la determinación de la orientación, del emplazamiento y del número de pista. Son factores tan importantes que se ha dedicado una sección entera a la orientación de la pista.

2.2.1.1. Elección de la componente transversal máxima admisible del viento

Sabiendo que el coeficiente de utilización del aeródromo no ha de ser inferior al 95% para los aviones que el aeropuerto está destinado a servir, en circunstancias normales, se impide el aterrizaje o despegue de un avión con una componente transversal del viento que exceda de 37km/h. Ya que la longitud de campo de referencia es mayor a 1.500 metros.

Dicha componente cambia su valor y pasa a ser de 24 km/h en el caso de que aparezcan con frecuencia condiciones de eficacia de frenado deficiente en la pista debido a que el coeficiente de fricción longitudinal es insuficiente.

2.2.1.2. Emplazamiento del umbral

Normalmente el umbral se sitúa en el extremo de la pista.

2.2.1.3. Longitud verdadera de la pista

Sabiendo que las aeronaves más comunes en el aeropuerto de Lanzarote son el Airbus 320 y el Boeing 737-800, se han realizado los cálculos pertinentes

(detallados en el anexo 36) siguiendo el manual de diseño de aeródromos (parte 1, pistas) de la OACI [33] resultando en una longitud de pista de 3.060 metros.

2.2.1.4. Anchura de la pista

Según la letra y número de clave del aeropuerto, se sabe que la anchura de la pista no ha de ser menor de 45 metros, por lo que se estipula que la anchura será de 45 metros (observar anexo 37 para más detalle).

2.2.1.5. Distancia mínima entre pistas paralelas

Cuando se trata de pistas paralelas previstas para uso simultáneo en condiciones de vuelo por instrumentos, la distancia mínima entre sus ejes es de 1.035 metros en aproximaciones paralelas independientes.

2.2.1.6. Pendientes longitudinales

La pendiente obtenida al dividir la diferencia entre la elevación máxima y la mínima a lo largo del eje de la pista, por la longitud de ésta, no debería exceder del 1% ya que el número de clave es 4.

En ninguna parte de la pista la pendiente longitudinal debería exceder del 1,25%, excepto en el primero y el último cuarto de la longitud de la pista, en los cuales la pendiente no debería exceder del 0,8%.

2.2.1.7. Cambios de pendiente longitudinal

Cuando no se pueda evitar un cambio de pendiente entre dos pendientes consecutivas, éste no debería exceder del 1,5% porque el número de clave del aeropuerto de Lanzarote es 4.

La transición de una pendiente a otra debería efectuarse por medio de una superficie curva con un grado de variación que no exceda de 0,1% por cada 30 m (radio mínimo de curvatura de 30 000 m).

2.2.1.8. Distancia visible

Cuando no se pueda evitar un cambio de pendiente, el cambio debería ser tal que desde cualquier punto situado a 3 metros por encima de una pista sea visible todo otro punto situado también a 3 m por encima de la pista, dentro de una distancia igual, por lo menos, a la mitad de la longitud de la pista, ya que la letra clave del aeropuerto es D.

2.2.1.9. Distancia entre cambios de pendiente

A lo largo de la pista deberían evitarse ondulaciones o cambios de pendiente apreciables que estén muy próximos. La distancia entre los puntos de intersección de dos curvas sucesivas no debería ser menor que 750 m (dato obtenido en el anexo 38).

2.2.1.10. Pendientes transversales

Para facilitar la rápida evacuación del agua, la superficie de la pista, en la medida de lo posible, debería ser convexa, excepto en los casos en que una pendiente transversal única que descienda en la dirección del viento que acompañe a la

lluvia con mayor frecuencia, asegure el rápido drenaje de aquélla. La pendiente transversal ideal debería ser de 1,5% porque la letra de clave es D.

2.2.2. Márgenes de pista

Se debe de proveer márgenes en toda la pista ya que la letra de clave es D en el aeropuerto de Lanzarote y, además, la anchura de ésta es inferior a 60 metros.

2.2.2.1. Anchura de los márgenes de las pistas

Los márgenes se extenderán simétricamente a ambos lados de la pista de forma que la anchura total de ésta y sus márgenes no sea inferior a 60 m.

2.2.2.2. Pendientes de los márgenes de las pistas

La superficie de los márgenes adyacentes a la pista debería estar al mismo nivel que la de ésta, y su pendiente transversal no debería exceder del 2,5%.

2.2.2.3. Resistencia de los márgenes de las pistas

Los márgenes de las pistas deberían prepararse o construirse de manera que puedan soportar el peso de un avión que se saliera de la pista, sin que éste sufra daños, y soportar los vehículos terrestres que pudieran operar sobre el margen.

2.2.3. Franjas de la pista

La pista y cualquier zona asociada de parada estarán comprendidas dentro de una franja.

2.2.3.1. Longitud de las franjas de pista

La franja se extenderá antes del umbral y más allá del extremo de la pista o de la zona de parada hasta una distancia de por lo menos 60 m.

2.2.3.2. Anchura de las franjas de pista

Se extenderá lateralmente hasta una distancia de por lo menos 150 m a cada lado del eje de la pista y de su prolongación a lo largo de la franja.

2.2.3.3. Objetos en las franjas de pista

Todo objeto situado en la franja de una pista y que pueda constituir un peligro para los aviones, debería considerarse como un obstáculo y eliminarse, siempre que sea posible. En el anexo 39 se especifican más detalles al respecto.

Con excepción de las ayudas visuales requeridas para fines de navegación aérea o de seguridad operacional de las aeronaves y que deban estar emplazadas en franjas de pista, y satisfagan los requisitos sobre frangibilidad pertinentes que aparecen en el Capítulo 5, no se permitirá ningún objeto fijo en la franja de una pista dentro de una distancia de 60 m del eje de la pista de aproximación de precisión.

2.2.3.4. Nivelación de las franjas de pista

La parte de la franja que comprenda la pista de vuelo por instrumentos, debería proveer, hasta una distancia de por lo menos 75 m del eje de la pista y de su prolongación, un área nivelada en atención a los aviones a que está destinada la pista en el caso de que un avión se salga de ella.

La superficie de la parte de la franja lindante con la pista, margen o zona de parada estará al mismo nivel que la superficie de la pista, margen o zona de parada.

2.2.3.5. Pendientes de las franjas de pista

Las pendientes longitudinales a lo largo de la porción de una franja que ha de nivelarse, no deberían exceder del 1,5%.

Los cambios de pendiente en la parte de una franja que haya de nivelarse deberían ser lo más graduales posible, debiendo evitar los cambios bruscos o las inversiones repentinas de pendiente.

Las pendientes transversales en la parte de una franja que haya de nivelarse deberían ser adecuadas para impedir la acumulación de agua en la superficie, pero no deberían exceder del 2,5% excepto que, para facilitar el drenaje, la pendiente de los primeros 3 m hacia afuera del borde de la pista, margen o zona de parada debería ser negativa, medida en el sentido de alejamiento de la pista, pudiendo llegar hasta el 5%.

2.2.3.6. Resistencia de las franjas de pista

La parte de una franja que comprenda una pista de vuelo por instrumentos debería prepararse o construirse, hasta una distancia de por lo menos 75 m del eje de la pista y de su prolongación, de manera que se reduzcan al mínimo los peligros provenientes de las diferencias de carga admisible, respecto a los aviones para los que se ha previsto la pista, en el caso de que un avión se salga de la misma.

2.2.4. Áreas de seguridad de extremos de pista

Se proveerá un área de seguridad de extremo de pista en cada extrema de la franja de pista ya que el número de clave en el aeropuerto de Lanzarote es 4.

2.2.4.1. Dimensiones de las áreas de seguridad de extremo de pista

El área de seguridad de extremo de pista debería extenderse desde el extremo de una franja de pista hasta por lo menos 240 m.

La anchura del área de seguridad de extremo de pista será por lo menos el doble de la anchura de la pista correspondiente, es decir 90 m.

2.2.4.2. Objetos en las áreas de seguridad de extremo de pista

Todo objeto situado en un área de seguridad de extremo de pista, que pueda poner en peligro a los aviones, debería considerarse como obstáculo y eliminarse, siempre que sea posible.

2.2.4.3. Eliminación de obstáculos

Un área de seguridad de extremo de pista debería presentar una superficie despejada y nivelada para los aviones que la pista está destinada a servir, en el caso de que un avión efectúe un aterrizaje demasiado corto o se salga del extremo de la pista.

2.2.4.4. Pendientes de las áreas de seguridad de extremo de pista

Las pendientes de un área de seguridad de extremo de pista deberían ser tales que ninguna parte de dicha área penetre en las superficies de aproximación o de ascenso en el despegue.

Las pendientes longitudinales de un área de seguridad de extremo de pista no deberían sobrepasar una inclinación descendente del 5%. Los cambios de pendiente longitudinal deberían ser lo más graduales posible, debiendo evitar los cambios bruscos o las inversiones repentinas de pendiente.

Las pendientes transversales de un área de seguridad de extremo de pista no deberían sobrepasar una inclinación, ascendente o descendente, del 5%. Las transiciones entre pendientes diferentes deberían ser lo más graduales posible.

2.2.4.5. Resistencia de las áreas de seguridad de extremo de pista

Un área de seguridad de extremo de pista debería estar preparada o construida de modo que reduzca el riesgo de daño que pueda correr un avión que efectúe un aterrizaje demasiado corto o que se salga del extremo de la pista, intensifique la deceleración del avión y facilite el movimiento de los vehículos de salvamento y extinción de incendios.

2.2.5. Calles de rodaje

Deberían proveerse calles de rodaje para permitir el movimiento seguro y rápido de las aeronaves en la superficie [34].

El diseño de una calle de rodaje será tal que, cuando el puesto de pilotaje de los aviones para los que está prevista permanezca sobre las señales de eje de dicha calle de rodaje, la distancia libre entre la rueda exterior del tren principal del avión y el borde de la calle de rodaje no sea inferior a 4,5 m.

2.2.5.1. Anchura de las calles de rodaje

La parte rectilínea de una calle de rodaje debería tener una anchura no inferior a 18 m, ya que la letra de clave del aeropuerto de Lanzarote es D y porque la distancia entre ruedas exteriores del tren de aterrizaje principal de los dos tipos de aeronaves más frecuentes (A-320 y B-737-800) es inferior a 9 metros (8,7 y 7 metros respectivamente).

2.2.5.2. Curvas de las calles de rodaje

El radio mínimo de la curva en la calle de rodaje, ha de ser de 3.000 m, ya que el aeropuerto de Lanzarote tiene letra de clave D.

2.2.5.3. Distancias mínimas de separación de las calles de rodaje

La separación mínima entre el eje de la calle de rodaje y el eje de la pista de vuelo por instrumentos, es de 176 m.

La separación mínima entre dos ejes de calles de rodaje, es de 66,5 m.

La separación mínima entre el eje de la calle de rodaje y un objeto en la calle de rodaje y calle de acceso al puesto de estacionamiento, es de 40,5 m y con un objeto de aeronaves, es de 36 m.

Todas estas distancias pueden verse en la tabla representada en el anexo 40.

2.2.5.4. Pendientes de las calles de rodaje

La pendiente longitudinal de una calle de rodaje de la calle de rodaje no excede de 1,5%.

Cuando no se pueda evitar un cambio de pendiente en una calle de rodaje, la transición de una pendiente a otra debería efectuarse mediante una superficie cuya curvatura no exceda del 1% por cada 30 m (radio mínimo de curvatura de 3 000 m).

Cuando no se pueda evitar un cambio de pendiente en una calle de rodaje el cambio debería ser tal que, desde cualquier punto situado a 3 m sobre la calle de rodaje, pueda verse toda su superficie hasta una distancia de por lo menos 300 m.

Las pendientes transversales de una calle de rodaje deberían ser suficientes para impedir la acumulación de agua en la superficie, pero no deberían exceder del 1,5%.

2.2.5.5. Resistencia de las calles de rodaje

La resistencia de una calle de rodaje debería ser por lo menos igual a la de la pista servida, teniendo en cuenta que una calle de rodaje estará sometida a mayor intensidad de tránsito y mayores esfuerzos que la pista servida, como resultado del movimiento lento o situación estacionaria de los aviones.

2.2.5.6. Superficie de las calles de rodaje

La superficie de una calle de rodaje no debería tener irregularidades que puedan ocasionar daños a la estructura de los aviones.

2.2.5.7. Calles de salida rápida

Las calles de salida rápida deberían calcularse con un radio de curva de viraje de por lo menos 550 m a fin de que sean posibles velocidades de salida, con pistas mojadas, de 93 km/h.

El ángulo de intersección de una calle de salida rápida con la pista no debería ser mayor de 45° ni menor de 25°, pero preferentemente debería ser de 30°.

2.2.5.8. Calles de rodaje en puentes

La anchura de la parte del puente de rodaje que pueda sostener a los aviones, medida perpendicularmente al eje de la calle de rodaje, no será inferior a la anchura del área nivelada de la franja prevista para dicha calle de rodaje, salvo que se utilice algún método probado de contención lateral que no sea peligroso para los aviones a los que se destina la calle de rodaje.

2.2.6. Márgenes de las calles de rodaje

Los tramos rectilíneos de las calles de rodaje que sirvan a pistas deberían tener márgenes que se extiendan simétricamente a ambos lados de la calle de rodaje, de modo que la anchura total de la calle de rodaje y sus márgenes en las partes rectilíneas no sea menor de 38 m.

En las curvas, uniones e intersecciones de las calles de rodaje en que se proporcione pavimento adicional, la anchura de los márgenes no debería ser inferior a la correspondiente a los tramos rectilíneos adyacentes de la calle de rodaje.

2.2.7. Franjas de las calles de rodaje

Cada calle de rodaje, excepto las calles de acceso al puesto de estacionamiento de aeronave, deberá estar situada dentro de una franja.

2.2.7.1. Anchura de las franjas de las calles de rodaje

Cada franja de calle de rodaje debería extenderse simétricamente a ambos lados del eje de la calle de rodaje y en toda la longitud de ésta hasta la distancia con respecto al eje 81 m, por lo menos.

2.2.7.2. Objetos en las franjas de las calles de rodaje

La franja de la calle de rodaje debería estar libre de objetos que puedan poner en peligro a los aviones en rodaje.

2.2.7.3. Nivelación de las franjas de las calles de rodaje

La parte central de una franja de calle de rodaje debería proporcionar una zona nivelada a una distancia del eje de la calle de rodaje de por lo menos 19 m.

2.2.7.4. Pendientes de las franjas de las calles de rodaje

La superficie de la franja situada al borde de una calle de rodaje o del margen correspondiente, si se provee, debería estar al mismo nivel que éstos y su parte nivelada no debería tener una pendiente transversal ascendente que exceda del 2,5% para las franjas de las calles de rodaje.

Para las pendientes descendentes, no debe de exceder el 5%.

2.2.8. Apartaderos de espera, puntos de espera de la pista, puntos de espera intermedios, y puntos de espera en la vía de vehículos

Se establecerán uno o más puntos de espera de la pista en la calle de rodaje, en la intersección de la calle de rodaje y una pista y en la intersección de una pista con otra pista cuando la primera pista forma parte de una ruta normalizada para el rodaje.

2.2.9. Plataformas

La distancia mínima entre el eje de la pista y un apartadero de espera, un punto de espera de la pista o punto de espera en la vía de vehículos, ha de ser de 90 m para aproximaciones de precisión, y de 75 m para pistas de despegue.

2.2.9.1. Resistencia de las plataformas

Toda parte de la plataforma debería poder soportar el tránsito de las aeronaves que hayan de utilizarla, teniendo en cuenta que algunas porciones de la plataforma estarán sometidas a mayor intensidad de tránsito y mayores esfuerzos que la pista como resultado del movimiento lento o situación estacionaria de las aeronaves.

2.2.9.2. Pendientes de las plataformas

En un puesto de estacionamiento de aeronaves, la pendiente máxima no debería exceder del 1%.

2.2.9.3. Márgenes de separación en los puestos de estacionamiento de aeronaves

Un puesto de estacionamiento de aeronaves debería proporcionar un margen mínimo de separación entre la aeronave que entre o salga del puesto y cualquier edificio, aeronave en otro puesto de estacionamiento u otros objetos adyacentes de 7,5 m.

2.2.10. Puestos de estacionamiento aislado para aeronaves

El puesto de estacionamiento aislado para aeronaves debería estar ubicado a la máxima distancia posible, pero en ningún caso a menos de 100 m de los otros puestos de estacionamiento, edificios o áreas públicas, etc. Debería tenerse especial cuidado en asegurar que el puesto de estacionamiento no esté ubicado sobre instalaciones subterráneas de servicio, tales como gas y combustible de aviación, y, dentro de lo posible, cables eléctricos o de comunicaciones.

2.2.11. Zona libre de obstáculos

El origen de la zona libre de obstáculos debería estar en el extremo del recorrido de despegue disponible.

2.2.12.1. Longitud de la zona libre de obstáculos

La longitud de la zona libre de obstáculos no debería exceder de la mitad de la longitud del recorrido de despegue disponible.

2.2.12.2. Anchura de la zona libre de obstáculos

La zona libre de obstáculos debería extenderse lateralmente hasta una distancia de 75 m, por lo menos, a cada lado de la prolongación del eje de la pista.

2.2.12.3. Pendientes de la zona libre de obstáculos

El terreno de una zona libre de obstáculos no debería sobresalir de un plano inclinado con una pendiente ascendente de 1,25%, siendo el límite inferior de este plano una línea horizontal que es perpendicular al plano vertical que contenga el eje de la pista y pasa por un punto situado en el eje de la pista, al final del recorrido de despegue disponible.

2.2.12. Zona de parada

Su inclusión no es obligatoria, pero en caso de tenerla, ésta tendría la misma anchura que la pista, es decir, 45 m.

2.2.13. Distancias declaradas

A continuación, se muestra una tabla con el resultado de realizar los cálculos de las distancias declaradas. Para más detalle, ver anexo 41.

Tabla 2.10. Distancias declaradas para la pista sobre el mar

Distancias Declaradas	RWY 03R	RWY 21L
TORA	2630m	2630m
TODA	3200m	3200m
ASDA	2800m	2800m
LDA	2630m	2630m

Se han declarado para un sentido, pero se asumirán las mismas medidas para el otro sentido, por el momento. Sin embargo, se prevé un estudio más profundo al respecto. Este margen calculado nos confirma la seguridad de las aeronaves en el aeropuerto de Lanzarote.

2.2.14. Tabla resumen

A continuación, se expresarán los resultados del dimensionamiento de la pista en la siguiente tabla:

Tabla 2.11. Tabla resumen del dimensionamiento de la nueva pista

	PISTA	CALLES DE RODAJE	MÁRGENES PISTA	FRANJAS PISTA	ÁREAS DE SEGURIDAD	CALLES DE SALIDA RÁPIDA	MÁRGENES CALLES DE RODAJE	FRANJAS CALLES DE RODAJE	ZONA LIBRE OBSTÁCULOS
Anchura	45 m	18 m	60 m	150 m	90 m	-	38 m	81 m	75 m
Longitud	3060 m	-	-	60 m	240 m	-	-	-	-
Distancia mínima entre pistas	1,035 m	-	-	-	-	-	-	-	-
Pendiente Longitudinal	1,25%	1,50%	-	1,50%	5%	-	-	-	-
Pendiente transversal	1,50%	1,50%	2,50%	2,50%	5%	-	-	Ascendente 2,5% Descendente 5%	Ascendente 1,25%
Distancia visible	3 m	-	-	-	-	-	-	-	-
Distancia entre cambios de pendiente	750 m	-	-	-	-	-	-	-	-
Nivelación	-	-	-	75 m	-	-	-	19 m	-
Distancia entre rueda exterior y borde de la	-	4,5 m	-	-	-	-	-	-	-
Radio curva	-	3.000 m	-	-	-	550 m	-	-	-
Separación entre calle y pista	-	176 m	-	-	-	-	-	-	-
Separación entre 2 calles de rodaje	-	66,5 m	-	-	-	-	-	-	-

Las ayudas visuales son factores imprescindibles en los aeropuertos las cuáles engloban indicadores y dispositivos de señalización, señales varias, luces, letreros y, por último, balizas. En este proyecto no se estudiarán profundamente las ayudas visuales por motivos de magnitud del proyecto, pero se tiene presente en todo momento que sería necesario realizar un análisis de todos los elementos con ayuda del anexo 14 como referente [37].

Cómo único punto que se tocará al respecto, será la nomenclatura de las cabeceras de las pistas. La pista actual de Lanzarote situada en tierra tendrá cabeceras 21R y 03L, mientras que la nueva pista sobre el mar se llamará 21L y 03R. La lógica viene dada, principalmente, a que son pistas paralelas, por lo que tienen la misma dirección con respecto al norte magnético.

2.3. Conexión con tierra

Como bien dice el título de este apartado, a continuación, se definirá la mejor manera de colocar la pista sobre el mar respecto a tierra. Se repasarán los puntos más importantes a tener en cuenta a la hora de conectar la pista con el aeropuerto justificando la elección en todo momento.

La estructura de este apartado consta de tres subapartados donde se contemplarán los posibles escenarios que se podrían tomar para conectar la pista con el aeropuerto en tierra y, además, el último subapartado donde se mostrará una simulación gráfica aproximada de la afectación en la orografía de las conexiones en el aeropuerto de Lanzarote.

A la hora de realizar una pista sobre el mar, la localización y el método de conexión con tierra son fundamentales en el proyecto.

La pista se puede plantear de dos maneras distintas, y sería ampliando la superficie de la tierra (realizando una expansión sobre el mar) o, por otro lado, seguir el modelo del aeropuerto de Kansai y construir una isla artificial remota conectada a tierra a través de un puente.

Los proyectos de este calibre suelen tardar entre 10 y 12 años en materializarse, sin embargo, desde el momento en que se confirma la construcción de la pista, el aeropuerto de Lanzarote comenzaría a notar los beneficios de hacerse más competitivo para aquellas compañías que verían en esta pista una oportunidad de negocio.

2.3.1. Escenario 1: con puente

Uno de los principales motivos por los que aeropuertos como el de Japón (Kansai) o el de China (Macau) han optado por este escenario y construir una pista remota sobre el mar, o incluso un aeropuerto entero sobre el mar, es el aprovechamiento del tiempo. Por problemas de ruido, los aeropuertos tuvieron que limitar su horario de operatividad y se aplicaron restricciones para funcionar en horario nocturno. El proyecto en una isla artificial contribuye a la posibilidad de abrir el aeropuerto las 24 horas del día, ya que al estar alejado de la población, el ruido ya no sería un inconveniente.

En este primer escenario, se tomará como referencia el aeropuerto de Macau [35], China, ya que el resultado es el más aproximado a lo deseable en Lanzarote.

La construcción de la pista en el aeropuerto canario se llevaría a cabo a través de la construcción de una isla artificial, la cuál se crea a partir del método de recuperación de tierra (o también llamado “tierras ganadas al mar” o “mar robado”). Este proceso consiste en la colocación de tierra o arena en el fondo del agua con el objetivo de obtener un nuevo asentamiento sólido a partir del mar.

En la siguiente imagen se puede observar un esbozo rápido inicial del diseño basado en los aeropuertos de Hong Kong, Macau y Kansai.



Figura 2.6. Simulación del escenario 1

El diseño está compuesto por la pista principal sobre la isla artificial, calles de rodaje y dos puentes que conectaría la isla con tierra.

Además de estos elementos, la implementación de un puerto de dimensiones pequeñas en la zona terrestre y otro en la isla artificial sería fundamental con el fin de tener una solución al posible fallo de los puentes conectores de la isla con tierra si sucediera por algún casual. Para tomar esta decisión se tomó como ejemplo, de nuevo, Macau en China.

La siguiente imagen muestra la situación actual del aeropuerto chino donde se aprecia el pequeño puerto para conectar la pequeña isla sobre el mar que contiene la pista, con la zona terrestre del aeropuerto.



Figura 2.7. Puerto en la pista de Macau

Un estudio sobre el número de puesto de estacionamiento necesarios debería de estar contemplado a la hora de analizar el proyecto. Ya que el incremento de operaciones en el aeropuerto, lleva a acoger más aeronaves en la zona aire del aeropuerto.

Por lo cual, se elaboraría un cálculo de la necesidad de puestos de estacionamiento y se diseñarían más, dentro de la isla artificial con tal de poder disponer de más espacio para las aeronaves.

En el diseño del proyecto, también se tiene que tener en cuenta el transporte de los vehículos aeroportuarios (como Push Back's, Follow Me's), servicios de emergencia y mantenimiento, los camiones reponedores de fuel, etc. Por ese motivo, a continuación, se mostrarán dos posibilidades de encarar este tema.

2.3.1.1. Isla artificial pequeña

Como primero caso, se diseñaría la isla artificial disponiendo de la pista y las calles de rodaje, básicamente. Los vehículos aeroportuarios mencionados anteriormente, se desplazarían desde la zona terrestre, hasta la isla artificial a través de una de las dos conexiones. Como resultado, vehículos y aeronaves compartirían las vías de acceso con accesos controlados.

La elección de este caso, dependería, principalmente del número de puestos de estacionamiento adicionales necesarios en el aeropuerto de Lanzarote. Al tener que incorporar los puestos de estacionamiento en la parte terrestre, se tendría

que realizar un estudio de espacio disponible en el aeropuerto para poder acomodar los nuevos puestos en tierra, ya que en la isla artificial no cabrían.

2.3.1.2. *Isla artificial grande*

En el caso de obtener un gran número de puestos necesarios, de tal magnitud que no se podrían acomodar todos en tierra, la solución sería aumentar las dimensiones de la isla artificial con tal de poder incorporar los nuevos puestos de estacionamiento en ella. Además de los puestos, también se construirían edificios de servicios, bomberos, etc.

Las vías de conexión seguirían siendo compartidas por aeronaves y vehículos, al igual que en el anterior caso de la isla pequeña.

Aparte de estas dos posibilidades para la isla, donde se ha asumido la compartición de las vías de conexión entre vehículos y aeronaves, se podría estudiar la creación de túneles subterráneos con tal de separarlos. El hecho de que los vehículos aeroportuarios hicieran uso de esos túneles para llegar a la isla, evitaría posibles problemas de tiempo, pero, por otro lado, el gran peso de esta idea es el coste elevado que conllevaría llevarla a cabo.

2.3.2. **Escenario 2: sin puente**

En el segundo escenario no se pretende colocar la pista remotamente, sino que se desea construir la pista lo más cerca posible de la terminal. Este objetivo se puede realizar ampliando la zona tierra gracias a una extensión por encima del mar. Ganar terreno al mar es relativamente sencillo, ya que se dragan los lodos del fondo, se construye un espigón y se desplaza el agua con piedras y otro tipo de materiales. Después se compacta el fondo hasta que se estabiliza, según Rafael Rubio, responsable de Acciona Infraestructuras.

A modo de ejemplo, se tomará el aeropuerto de Hong Kong [36]. Aunque los aeropuertos de Singapur, Doha y Ámsterdam, también han adoptado esta medida y han ganado territorio al mar.

Con el objetivo de ampliar el campo de vuelo de Lanzarote hacia el mar, el primer paso se basa en hacer llegar una gran cantidad de escombros a la zona (para el aeropuerto de Hong Kong se necesitaron unos 200 millones de toneladas). Es fundamental que el suelo marino de la zona a expandir, esté limpia. Para conseguirlo, se requieren dragas submarinas, que son similares a aspiradoras gigantes. Estas dragas, recorren el fondo del océano para eliminar la capa de material que puede haber en el fondo y así exponer la roca estable que se halla debajo. Una vez el fondo marino está despejado, se encuentra una base sólida para poder comenzar a construir. Una capa de arena es la encargada de cubrir la base marina, seguida de los escombros pulverizados mencionados al principio.

La siguiente imagen muestra una simulación del resultado del proyecto si se escogiera este escenario.

En el anexo 42 se muestra el escenario 2 pero sin rellenar la isla con tal de poder diferenciar la diferencia con la costa y poder ver el calibre de la construcción.



Figura 2.8. Simulación del escenario 2

2.3.3. Orografía de las conexiones

Para acabar, a continuación, se representa la afectación de las conexiones con tierra sobre la orografía de la zona. Cabe destacar que la vegetación no se vería afectada en los puentes que se construirían, pero, por otro lado, los sedimentos no consolidados muy finos son los más abundantes en la conexión. Sin embargo, los tres tipos estarían presentes si se escoge la isla artificial remota.

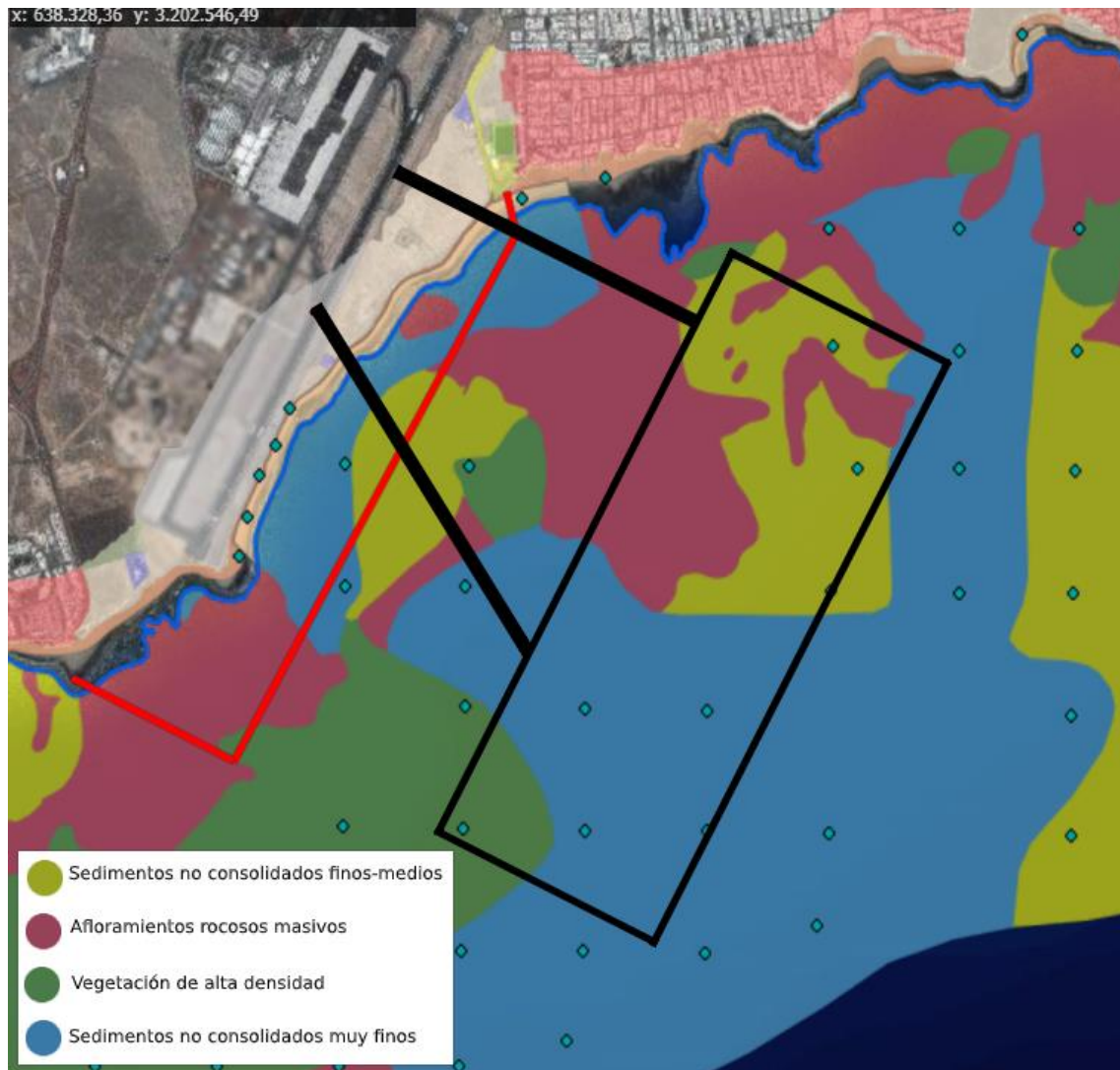


Figura 2.9. Orografía afectada en ambos escenarios

En la siguiente imagen, se muestra la profundidad del mar, donde se puede ver el hecho de descartar una isla artificial de grandes medidas (el área rayada en rojo), ya que llegaría a profundidades elevadas como 35 metros, lo cuál dificultaría mucho los trabajos de obra.

Por la demás área de la isla, el proyecto sería totalmente viable ya que la profundidad se mantiene entre los 9 y 27 metros.

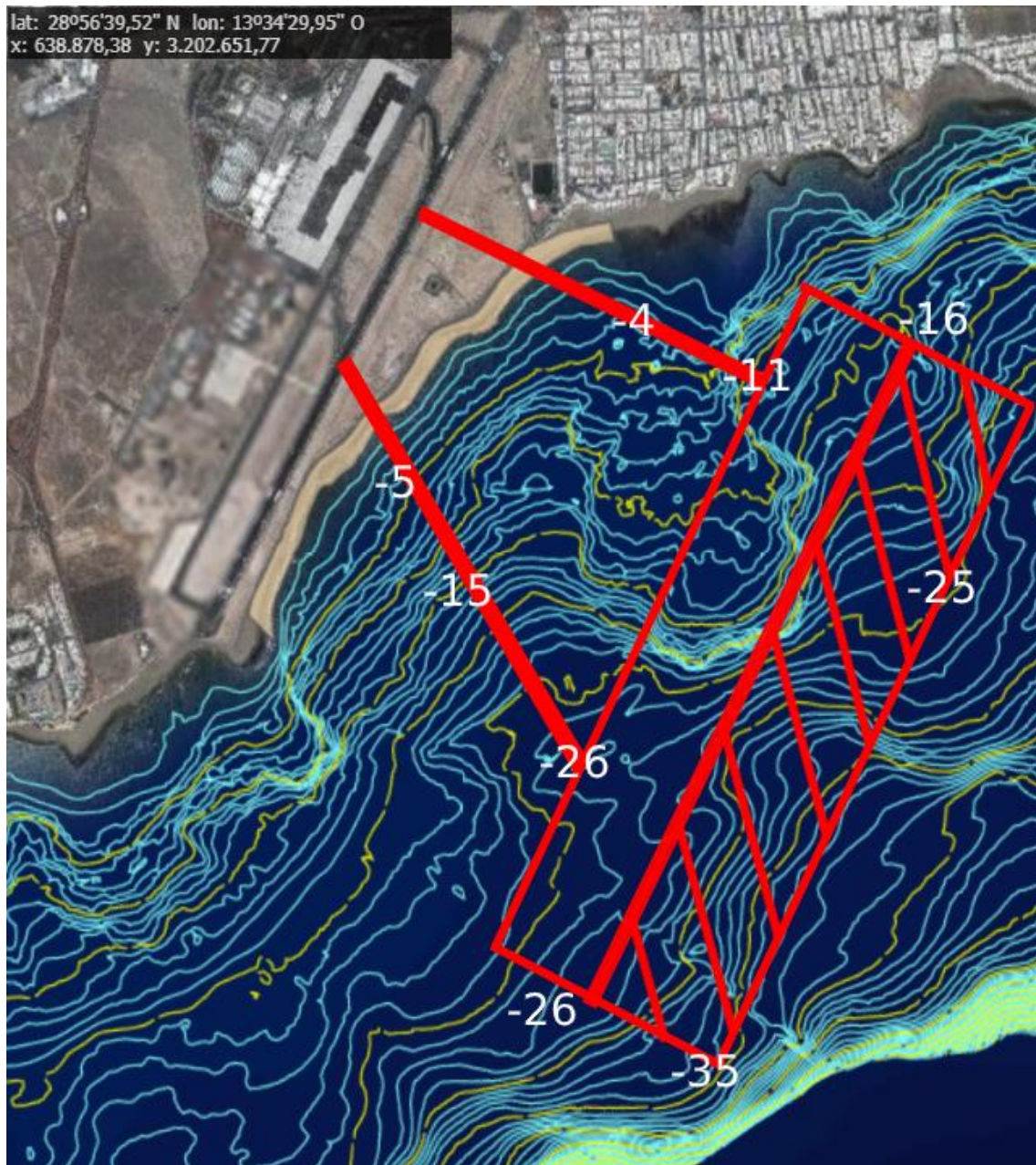


Figura 2.10. Profundidad de la costa afectada en ambos escenarios

En resumen, este apartado ha tenido un grado de complejidad más elevado de lo normal. Encontrar información al respecto no ha sido sencillo a causa de los muy pocos aeropuertos existentes que disponen de este tipo de distribución en las infraestructuras aeroportuarias. Aparte de esto, realizar un diseño desde cero, con una gran variedad de consideraciones y no permitir la contradicción de éstas, no es trivial.

Para concluir con el apartado, se debe de considerar que, a corto plazo, la implantación del escenario sin puente, es la más óptima por temas de costes, tiempo y complejidad. Pero esta solución puede acabar en necesidades de espacio después de un tiempo. Además, si el número de operaciones crece considerablemente con el curso de los años, las aeronaves se encontrarán con problemas a la hora de ponerse en cola para despegar.

En cambio, la solución de la isla artificial con puente incorporado, proporciona suficientemente espacio para acomodar bastantes aeronaves en cola, lo cual ayudaría a agilizar las operaciones notablemente.

2.4. Conclusiones

Durante la primera parte del segundo capítulo, se ha podido demostrar que la orientación que mejor se adapta a todos los elementos para la nueva pista en el aeropuerto de Lanzarote, es disponer la nueva pista en paralelo a la actual.

El factor de ruido es el más restrictivo de todos. Actualmente en Lanzarote ya existen problemas de ruido en la pista. Nuestra solución agravaría más aún la situación actual. Queda pendiente el estudio de una solución para este problema. Como inspiración, se podría consultar la solución que se propuso en Heathrow, la cual ejecuta una política de alteración de la pista dependiendo de la franja horaria para afectar lo mínimo sonoramente a la población.

Dado que nuestra pista está destinada a aeronaves grandes, y la longitud de la pista será equiparable a la pista actual, no ha habido tanta restricción en la dirección del viento. Por lo que muchas soluciones propuestas, son válidas, lo que no se descarta escoger una de éstas en un futuro.

Uno de los beneficios de construir la pista sobre el mar es que, por una banda, al crear la isla artificial, ya se tienen en cuenta las servidumbres que son restrictivas.

Por otra banda, como está situado en medio del mar, no se presentan obstáculos en un rango cercano, ya que todo lo que hay a la vista, es mar.

Además, las superficies limitadoras de la pista actual son aprovechables, a cause de la corta distancia entre las dos pistas paralelas.

Como último punto del apartado, se han observado las limitaciones que existen al tener en cuenta la orografía del entorno del aeropuerto y es notable el alto grado de restricción que mostraba el estudio de las profundidades del mar. Este hecho, ha provocado acercar la pista a la orilla del mar con moderación. Otros elementos como el nivel del mar y los sedimentos que se encuentran en el fondo marino, no se han destacado como afectaciones graves.

En la segunda parte del capítulo, la elección de una aeronave como referencia para calcular las dimensiones de la pista ha sido una de las decisiones más complejas. Partiendo del hecho de que oficialmente el aeropuerto de Lanzarote es clave 4D, pero vuelan aeronaves del tipo 4E, se planteó la posibilidad de construir una pista más grande con tal de poder alojar a estas aeronaves. Pero se concluyó en que no merecía la pena por la poca frecuencia de este tipo de aviones en la isla canaria.

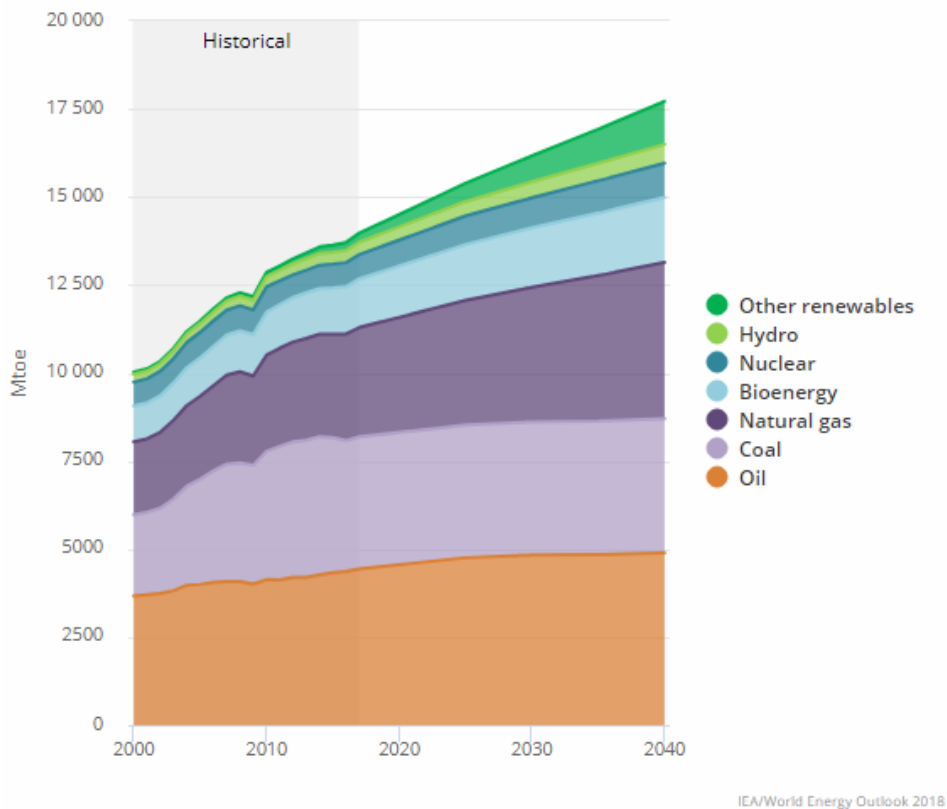
Por último, el capítulo ha concluido con la elección de la conexión con tierra. La aproximación gráfica resultante fue difícil de conseguir a consecuencia de las limitaciones de profundidad marina mostrados en otros apartados. Se pudieron

mostrar dos posibles escenarios concluyendo en la elección de la isla artificial a causa de sus beneficios a medio/largo plazo. No obstante, este beneficio no resta a otros factores a tener en cuenta como son los altos costes y complejidad del proyecto en el mar.

CAPÍTULO 3. USO DE ENERGÍAS RENOVABLES Y SOSTENIBILIDAD

En las últimas décadas, el consumo de energía y de emisiones de CO₂ ha crecido un 50% en todo el mundo [38]. Sin embargo, por si no fuera poco se prevé una demanda global energética que podría incrementarse en un tercio para el período de 2015-2040 según estudios de la Agencia Internacional de Energía (siglas IEA, en inglés) como se muestra en la siguiente tabla [39]:

Gráfico 3.1.. Predicción futura con nuevas políticas sostenibles. Fuente: IEA



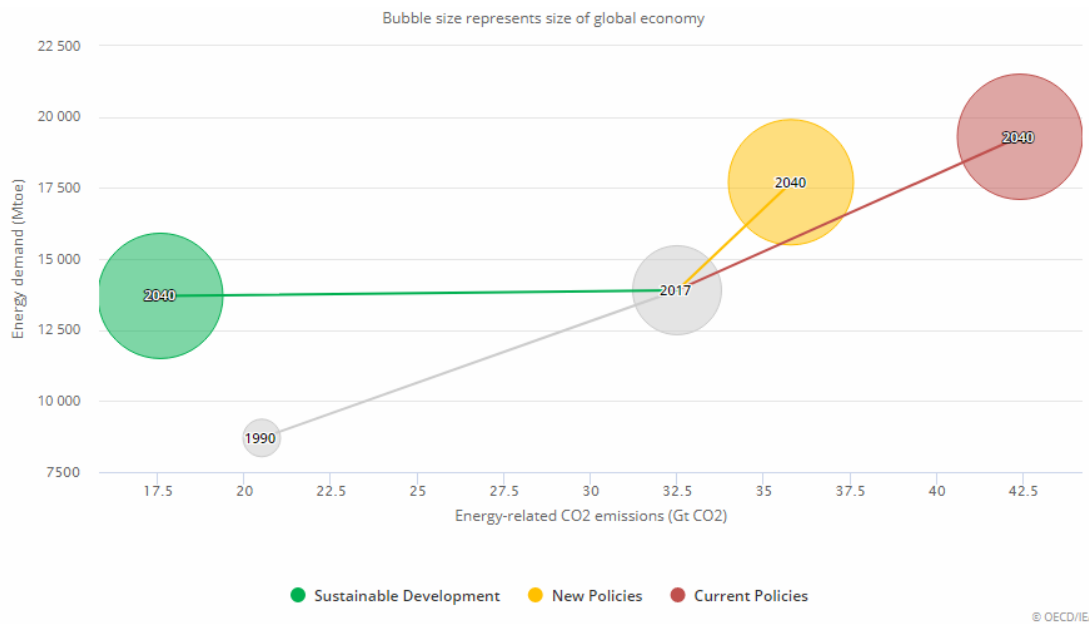
Como se ha podido observar en la anterior gráfica, la tendencia de la demanda energética sigue en aumento casi en todas las fuentes principales de energía, mejorando poco a poco la fomentación de energías renovables y a la vez que la desvinculación de las energías convencionales. Este escenario está teniendo en cuenta las nuevas mejoras políticas (más realista) que se puedan plantear en el futuro a medio plazo. Esta predicción supone una problemática que impacta directamente nuestro medioambiente, y en algunas zonas no sería posible abastecer la demanda.

IEA nos plantea 3 posibles escenarios con respecto a la relación de emisión CO₂ y la demanda energética:

- *Políticas actuales*: es el caso de no tomar medidas preventivas y seguir actuando como se está haciendo en el presente.
- *Nuevas Políticas*: es el caso de poco a poco ir introduciendo las medidas sostenibles anunciadas por los gobiernos.
- *Desarrollo sostenible*: es el caso de intentar llegar a un equilibrio entre el desarrollo sostenible, acceso de la energía, calidad del aire y cambio climático.

En la siguiente gráfica se nos muestra las predicciones futuras en cuanto a las emisiones de CO₂ en función de la previsible demanda para los tres escenarios mencionados:

Gráfico 3.2. Relación de emisión CO₂ y la demanda energética. Fuente: IEA [40]



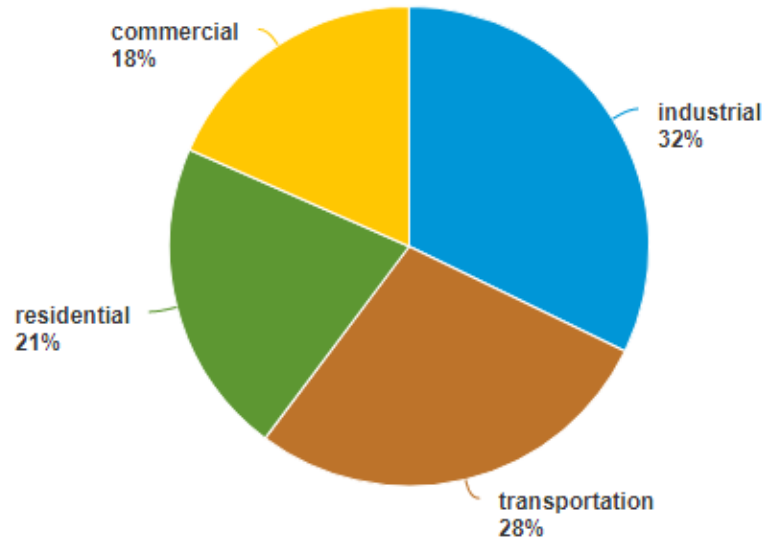
Por una banda, esta gráfica es reflejar que el aumento de emisiones de CO₂ no hará más que aumentar en los próximos años pese a las medidas que se puedan tomar según los escenarios mencionados antes. Las consecuencias de este hecho comporta más contaminación, más impactos ambientales como cambios de clima, aumento de temperatura, entre otras.

Por otra banda, la progresión a lo sostenible será un camino largo y no inmediato y es por ello que toda consideración al medioambiente es necesario en cualquier proyecto ingenieril.

Para acabar con la introducción, en la siguiente gráfica se muestra los principales sectores consumidores de energía final:

Gráfico 3.3. Consumo de energía final por sector en EE.UU en 2018. Fuente: EIA(Energy Information Administration) [41]

Total = 101.3 quadrillion British thermal units



Note: Sum of individual percentages may not equal 100 because of independent rounding.

Source: U.S. Energy Information Administration, *Monthly Energy Review*, Table 2.1, April 2019, preliminary data

Alrededor del 70% del consumo energético es de transporte, residencial y comercial, que son básicamente los sectores que engloba el sector aeronáutico ya que se pueden considerar como pequeñas ciudades.

Como se ha podido observar, el sector aeronáutico no es menos contribuyente a la problemática medioambiental. Es por eso que es necesario promover e implementar energías sostenibles en el entorno aeroportuario

A lo largo de este capítulo, se profundizará en saber cómo se distribuye el consumo energético dentro del entorno aeroportuario para poder identificar los focos donde es posible la incorporación de energías renovables que son viables en el entorno aeroportuario. Se estimará el consumo que abastecería las energías renovables frente al aumento de consumo energético del Aeropuerto de Lanzarote.

Por otra banda, al final de este capítulo se expondrá la situación de tratamiento de residuos de aeronaves que supone un riesgo medioambiental y se valorará soluciones acordes con el preservamiento y sostenibilidad de nuestro planeta.

3.1. Consumo energético en los aeropuertos

Para poder abastecer todas las actividades que llevan a cabo en el los aeropuertos, tanto en el lado aire como en el lado tierra, una cantidad enorme de energía es necesaria. A continuación se muestra las diferentes áreas que puede verse involucrada el entorno aeroportuario:



Figura 3.1. Esquema general de los aeropuertos [42]

La fuentes de energía más importantes y con más uso en los aeropuertos son [42]:

- Electricidad: utilizado en varios sistemas y servicios necesarios en los aeropuertos.
- Combustible: usado principalmente por los vehículos, generadores de emergencia, entre otros.

Sin embargo la electricidad es la más predominante porque es necesaria para asegurar la seguridad de las operaciones aéreas y cubrir las necesidades de los pasajeros. Véase la siguiente tabla con datos oficiales de Aena:

Tabla 3.1. Consumo energético en los aeropuertos españoles [42]

Energy Source	Energy Consumption 2012 (GJ)	Energy Consumption 2013 (GJ)	Energy Consumption 2014 (GJ)
Electricity	3,534,831	3,338,549	3,236,086
Fuel	261,652	269,571	241,565

GJ, Giga Joules.

La energía eléctrica proviene normalmente de la red comercial y es suministrada por una compañía eléctrica. Aunque en los últimos años se está proponiendo

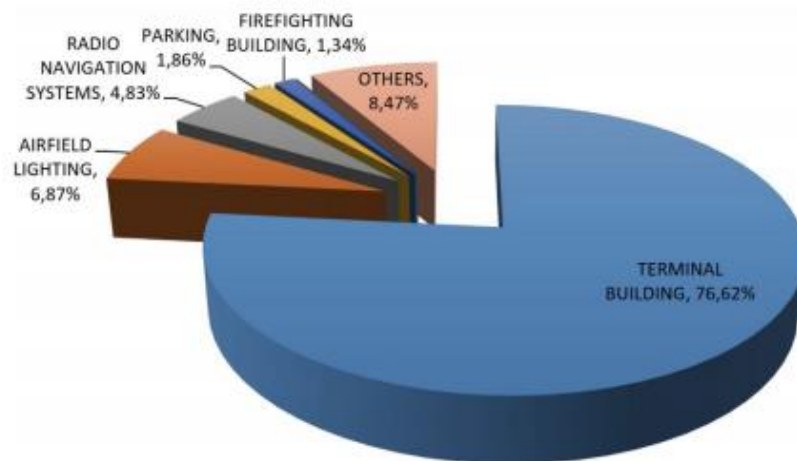
mejoras con construcciones de plantas de cogeneración CHP que son más eficientes o el uso de tecnologías para el uso de energías renovables [42].

3.1.1. Distribución del consumo eléctrico en el entorno aeroportuario

Como se ha comentado previamente, los aeropuertos en general son grandes consumidores de energía eléctrica, no obstante es importante saber donde se concentra el consumo eléctrico para poder valorar mejor la situación energética.

La distribución del consumo eléctrico no es igual en todos los aeropuertos puestos que no todos tienen la misma proporción de flujo de pasajeros, operaciones ni superficies de Terminal. Dado que se dispone de poca información de los aeropuertos españoles, se puede estimar cómo será la distribución de energía partiendo de un ejemplo del aeropuerto de Santander.

Gráfico 3.4. Consumo Eléctrico en el aeropuerto de Santander. Fuente AENA [42].



Se observa que existen dos sectores diferenciados en los aeropuertos: el lado aire y el lado tierra; que no consumen la misma proporción de energía eléctrica.

3.1.1.1. Lado Aire

Como se ha podido observar en la Figura 3.2, los principales consumidores en el lado aire son la iluminación de aeródromo y los sistemas de radionavegación, como otras instalaciones aeroportuarias como la torre de control o hangares, entre otros.

El lado aire representa aproximadamente entre el 20% y el 25% del consumo total de energía del aeropuerto. Esta proporción de energía es variable en función de las horas en la que opera el aeropuerto, el tamaño de las áreas de

operación de las aeronaves (pista, calles de rodaje o rodadura, etc) que requieren tener más iluminación sobre todo en operaciones nocturnas.

3.1.1.2. Lado Tierra

Como se ha mencionado en el anterior subapartado, el lado tierra del aeropuerto consume la mayoría de la energía eléctrica, siendo el 75% por ejemplo en el caso de Santander, aunque esta cifra variará en función del tamaño de la terminal y de los servicios que presta esta. Sin embargo, esta cifra es extrapolable para los aeropuertos más importantes en el territorio español.

Esta parte del aeropuerto es la que más consume porque proporciona servicios y facilidades para el pasajero y procesa todo tipo de operaciones que relacionan al lado aire. La climatización, la iluminación y los paneles informativos son los grandes consumidores de esta sección.

La distribución del consumo eléctrico de estos servicios suele ser [42]:

- Alrededor del 25% del total de consumo en Climatización
- Alrededor del 20% del total de consumo en Iluminación
- Casi el 20% del total de consumo en tecnologías de Información y comunicación
- Y alrededor de un 12% en compañías que trabajan en el aeropuerto que brinda servicios a los pasajeros.

Hoy en día, esta situación está en el punto de mira de los gestores aeroportuarios que son conscientes de la problemática tanto medioambiental como de costes y se requiere de soluciones más eficientes para las secciones que más consumen como es el caso de la climatización e iluminación.

3.1.2. Consumo en el Aeropuerto de Lanzarote

Teniendo en cuenta los porcentajes de consumo energético visto en el apartado anterior, se intentará estimar el consumo en el aeropuerto de Lanzarote como se mostraba en el aeropuerto de Santander.

Dado que no se dispone de datos oficiales del Aeropuerto de Lanzarote, se procederá a una estimación del gasto anual que tendría actualmente. Según el plan director, el consumo energético para el aeropuerto de Lanzarote es una variable en función al número de pasajeros que utilizan el aeropuerto, tal y como se muestra a continuación:

Tabla 3.2. Necesidades de abastecimiento de energía eléctrica Lanzarote [43]

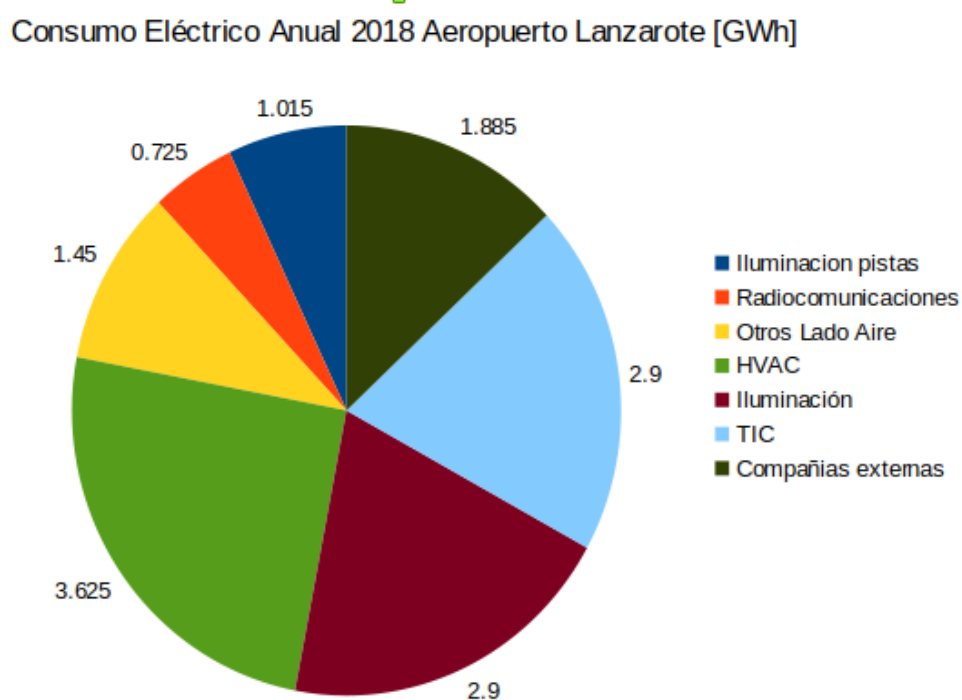
Horizontes Tráfico (MM pax)	U.T.A.	KWh	KWh/UTA
4,5	4.750.446	4.970.722	1,0464
5,5	5.628.643	7.939.382	1,4105
6,5	6.627.308	11.315.273	1,7074
7,5	7.568.933	14.498.349	1,9155

Fuente: Elaboración Propia

Siguiendo la tabla anterior y tal y como se ha podido apreciar en el capítulo 1 donde se comentaba que el número de pasajeros fue de aproximadamente de 7,3 millones de pasajeros en 2018, se estima un consumo eléctrico actual de aproximadamente 14,5 GWh (52.200 GJ) .

Para analizar concretamente cada sector es necesario segregar el consumo con las cifras obtenidas en el aeropuerto de Santander, que consideramos que se ajustan a la realidad actual en todos los aeropuertos españoles obteniendo la siguiente gráfica de consumo eléctrico para el aeropuerto de Lanzarote.

Gráfico 3.4. Consumo Eléctrico Anual Aeropuerto Lanzarote



3.1.2.1. Emisiones de CO₂

Con el consumo actual del aeropuerto de Lanzarote, teniendo en cuenta un factor de emisión de 0,385 KgCO₂/kWh, se obtendría unas emisiones de 5.582,5 T de CO₂ anual . Lo que supondría la contribución del 0,017% de las emisiones de

CO₂ a nivel mundial (siguiendo al referencia de la Gráfica 3.2) en caso de que toda la energía consumida provenga del suministro corriente de electricidad.

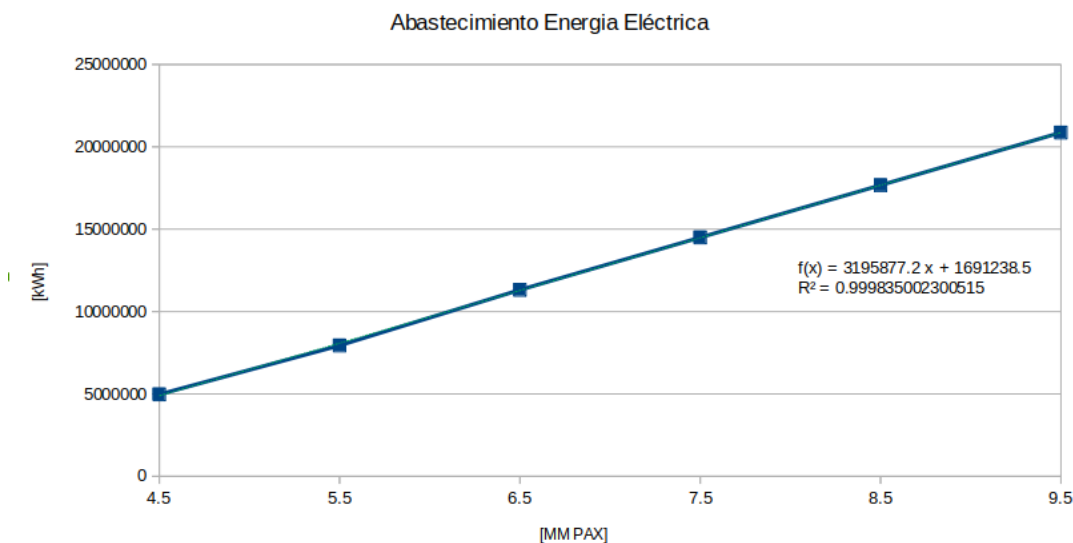
3.1.3. Previsión de consumo energético en el Aeropuerto de lanzarote

En este apartado, se estimará como se espera que sea la necesidad futura en el aeropuerto de Lanzarote teniendo en cuenta que se había estimado una crecimiento de 1,4 millones de pasajeros para el 2030. Es necesario obtener estos valores cuantitativos para poder valorar si las soluciones alternativas pueden cubrir la necesidad futura.

Sin embargo, intentar predecir el consumo energético es impredecible y que depende de muchos factores que son casuísticos, no lineales y muy dinámicos. Por lo que reutilizando la tabla 3.2 se podrá dar una estimación de consumo energético para el 2030 con un aumento considerable.

Se procede a utilizar una regresión lineal tal y como se utilizó en el capítulo 1 (en el apartado de Predicciones Futuras) obteniéndose la siguiente estimación:

Gráfico 3.5. Estimación Energía para el 2030



Según esta consideración, se obtendría que para dentro de 11 años con 8,7 millones de pasajeros, se necesitaría un consumo del aeropuerto de 18,31GWh (65.916GJ).

3.1.3.1. Emisiones de CO₂

La predicción de los pasajeros, supondría un aumento del 26,21% de las emisiones de CO₂ siguiendo la tendencia de la gráfica 3.2 con un escenario de nuevas políticas. Por esta razón, es importante reducir la huella medioambiental

introduciendo fuentes renovables en el aeropuerto de Lanzarote ante la problemática futura.

3.2. Energías renovables viables en el entorno aeroportuario

A lo largo de este capítulo se han ido mencionando que las energías renovables son una alternativa a la hora de generar energía que no tiene por que ser exclusivamente eléctrica, para poder abastecer el aumento de demanda energética en el mundo y poder así reducir la huella medioambiental.

En este apartado se centrará en introducir las fuentes renovables que serían de gran utilidad disponer de ellas en el entorno aeroportuario, y que por lo tanto tendrían que estar en consideración implementarlas en un futuro cercano para abastecer el gran consumo de los aeropuertos a nivel mundial.

En general, las tecnologías renovables son consideradas fuentes de energía limpias y la optimización de estos recursos minimizaría sin ninguna duda el impacto medioambiental. Cabe puntualizar que estas generan una menor cantidad de emisiones de CO₂ que las energías convencionales, por lo que aún está lejos de sostenibilidad completa.

La instalaciones de estas es posible en el entorno aeroportuario ya que la localización de los aeropuertos suelen estar en condiciones óptimas y libre de obstáculos. De las muchas fuentes que existen, se mencionara las siguientes para comprobar la viabilidad en el aeropuerto teniendo en cuenta su instalación y la seguridad operacional del Aeropuerto:

Tabla 3.3. Listado de energías renovables en los Aeropuertos [42]

Fuente de Energía	Puntos Positivos	Puntos Negativos
Solar Fuente: Radiación Solar	Los aeropuertos dotan de espacio suficiente para colocar muchos paneles solares tanto térmicos como fotovoltaicos.	Deslumbramientos de los paneles que puedan afectar la visión de los pilotos.
Eólica Fuente: Viento	Espacio libre con gran afluencia de viento.	Limitación de obstáculos a a radionavegación y aeronaves
Hidroeléctrica Fuente: Energía potencial del Agua	Útil para aeropuertos cerca de lugares con gran movimiento de agua.	Gran Impacto medioambiental en la construcción de la planta.

Geotérmica Fuente: calor interno de la Tierra	Grandes cantidades de terreno sin explotar.	Baja rentabilidad si no es para un terreno previamente estudiado
Biofuel (origen vegetal) Biomasa (residuos) Biogás (Fuente: Orgánico)	Viable en vehículos de transporte de maletas en el lado aire Uso de residuos Alternativa al Gas.	Baja eficiencia con respecto a otras fuentes.

El listado anterior de energías renovables está expuesto de mayor a menor viabilidad y consideración, dejando energías como Biogás, Biomasa Biofuel y Geo Térmica fuera de las candidaturas para el suministro de energía eléctrica para el aeropuerto dado su poca eficiencia para poder generar grandes cantidades como no pasa con las energía Solar y Eólica.

En lo que queda de apartado se centrará en introducir un poco más a fondo la Energía Solar y Eólica que se consideran, desde el punto de interés aeroportuario, las más viables para el entorno aeroportuario. Más adelante se introducirá otras fuente o soluciones que no se han considerado previamente; y para finalizar considerar las instalaciones de algunas de éstas para el aeropuerto de Lanzarote teniendo en cuenta ciertas restricciones que se valorará más adelante.

3.2.1. Energía Solar

La energía solar proviene de la radiación solar que es transformada mediante dispositivos específicos, en forma de energía térmica o energía eléctrica en función de la necesidad. En los aeropuertos se necesitan ambos y como se ha comentado antes, el 20% del uso de la energía eléctrica en los aeropuertos es en Climatización por lo que la energía térmica es útil en el 20-30% del tiempo durante el año.

Los paneles y colectores solares son los encargados de la captación de la radiación solar y transformarla en energía que sea utilizable. Dependiendo del mecanismo utilizado el aprovechamiento es diferente. Las 3 formas de aprovechar esta energía en la actualidad son las siguientes [44]:

- Energía solar térmica: el aprovechamiento de la radiación solar es utilizada para calentar agua mediante colectores solares para calefacción y obtención de agua caliente.
- Energía solar fotovoltaica: es de la más importante para el aeropuerto puesto que es posible generar corriente continua(que posteriormente se convierte en alterna mediante inversores) a partir de paneles solares.

- Energía solar pasiva: principalmente su uso es aprovechar al máximo la luz y el calor que ofrece esta fuente en las instalaciones a construir con la finalidad de reducir la necesidad de climatizar edificios e iluminarlos.

3.2.1.1. Energía solar térmica

Aunque es posible utilizar esta fuente para generar energía eléctrica, el rendimiento es menor que otro tipo de fuentes. El uso principal de esta fuente recae en calentar agua con la radiación solar.

Los colectores de energía solar térmica son los encargados de captar la energía térmica y estos se clasifican en función del grado de temperatura a la que alcanza el fluido en :

- Colectores de Baja Temperatura: llegando a temperaturas menores de 65°.
- Colectores de Media Temperatura: alcanzando temperaturass entre
- Colectores de Alta Temperatura: superando temperaturas superiores a 500°C.

Véase un esquema de su funcionamiento en la siguiente figura:

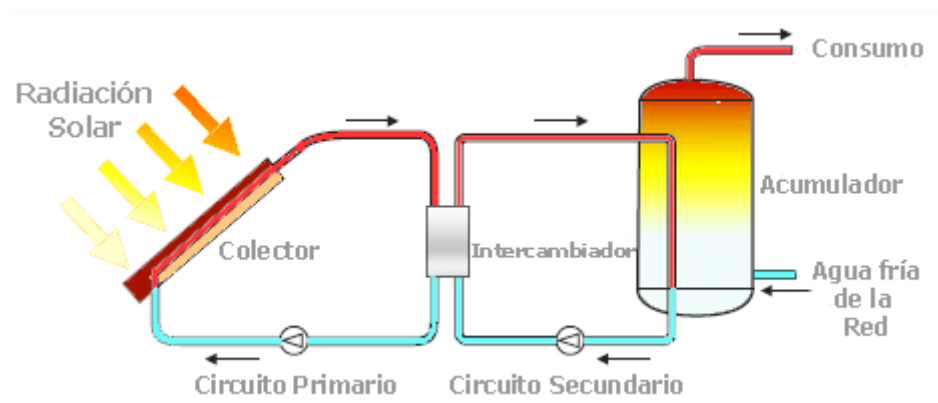


Figura 3.2. Esquema básico de una instalación de energía solar térmica.

Se destaca los siguientes sistemas de captación que podrían ser utilizados en los aeropuertos:

- Captador solar plano: es de lo más comunes para obtener temperaturas de 60°C a un coste reducido.
- Captador solar térmicos no vidriados: son más económicos que los planos, sin embargo el alcance de temperatura llega a los 30° reduciendo su utilización.

- Captador solar de vacío: consisten en generar un aislamiento térmico para minimizar el rendimiento Aunque son muy costosas.
- Captador solar térmicos con sistemas de seguimiento del sol: como su nombre indica, la inclinación y posición de los paneles varían a lo largo de día para mejorar la recepción de la radiación solar.

3.2.1.2. *Energía solar fotovoltaica*

Los paneles solares fotovoltaicos son los encargados de captar la radiación solar y convertirla en electricidad debido a los materiales que están compuestos los módulos. Estos permiten absorber los fotones de luz provocando un efecto perturbante en los electrones del material utilizado (normalmente Silicio) generando movimiento y liberación de electrones lo que provoca una corriente de cargas que son absorbidos como corriente eléctrica a baja tensión.

Dependiendo de la construcción de estos módulos no todo el espectro de la luz solar puede ser absorbido, generando así un aprovechamiento menor y por lo tanto un menor rendimiento. Actualmente se puede conseguir un 40% de eficiencia dividiendo el haz de luz en diferentes frecuencias que son captadas por diferentes células aptas para la captación de cada una.

Existen diferentes tipos de materiales en los que pueden estar compuestos las células fotovoltaicas y en función de ello depende el coste de cada módulo y el rendimiento. A continuación , se muestra los diferentes tipos que se tendrán en consideración para la posible implementación futura en el aeropuerto de Lanzarote [44]:

- Silicio monocristalino: Células con eficiencia de 18-21% , costosas, y difícil de extender en superficies extensas.
- Silicio policristalino: Células con eficiencia de 15-17%, más baratas que las monocristalino y fáciles de extender en superficies extensas.
- Silicio amorfo depositado por fase de vapor: eficiencia de 8 % pero más baratas. Captación de más espectro de luz.
- CIS: utilización de capas calcogenuro que mejoran el rendimiento hasta el 15% a base de un coste elevado de producción.
- Células fotoelectroquímicas: se basan en un esquema de fotosíntesis aún en mejora.

Las instalaciones se pueden diferenciar principalmente en dos tipos [44]:

- Instalaciones de conexión a red, que básicamente la energía generada se distribuye a las compañías eléctricas generando ingresos.

- Instalaciones fotovoltaicas aisladas de red, que se utilizan principalmente par autoconsumo.

En función de la previsión de generación de energía en el aeropuerto de Lanzarote se considerará optar por una instalación u otra ya que es posible generar ingresos a partir de ella.

3.2.2. Energía Eólica

Esta fuente de energía aprovecha la energía cinética generada por las corrientes de aire para producir energía eléctrica a partir de un generador eléctrico denominado aerogenerador obsérvese la siguiente figura:

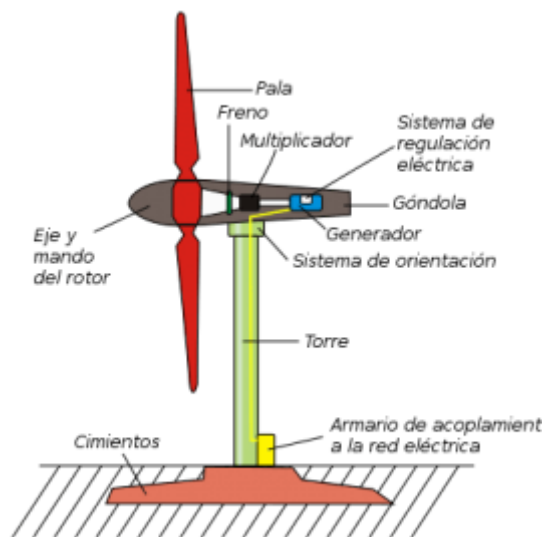


Figura 3.3. Esquema de un aerogenerador eje Horizontal [45]

En el esquema se observa que la generación de electricidad es un proceso que implica diversos módulos, desde el sistema de orientación al acoplador de la red eléctrica. Las palas están conectadas al rotor, que a partir de la rotación de éste acciona una bobina que produce energía eléctrica controlada.

Sin embargo, la eficiencia de estos generadores no son rentables si no hay un mínimo de viento (10 km/h) y peligra su estructura con vientos superiores a 40 km/h.

Existen dos tipos de aerogeneradores en función de la posición del rotor que genera la electricidad [45]:

- Aerogeneradores de eje vertical: destacan por no necesitar un mecanismo de orientación y se pueden utilizar al ras del suelo. Son más pequeños que los del horizontal pero producen menos energía.

- Aerogenerador de eje horizontal: son los más usados y permiten obtener grandes cantidades de energía aunque su tamaño es mucho mayor que las de eje vertical.

3.2.2.1. Tipos Aerogeneradores de eje vertical

A continuación se exponen los principales tipos de generadores aunque mucho de ellos aún son prototipos y su uso es aún minoritario.

Figura 3.4. Tipo Savonius



Figura 3.5. Windside

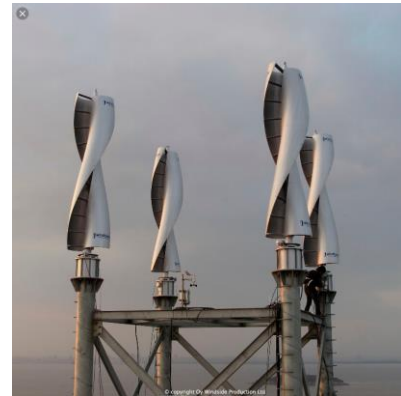


Figura 3.6. Giromil



Figura 3.7. Darrieus



Savonius: sistema de cilindros huecos, La gran resistencia no la hacen apto para la generación eléctrica. Y tiene más aplicaciones mecánicas.

Windside: Perfil alabeado con torsión para aprovechar el viento. muy eficientes como los de eje horizontal.

Giromil: Tres palas unidas que permite cambio de orientación.

Darrieus: Es el más exitoso debido su simple diseño utilizando dos palas muy finas unidas en el eje, que son muy parecidas alas alas de avión [46].

3.2.2.2. Aerogeneradores de eje horizontal

Una de sus clasificaciones depende del número de palas para generar la energía eléctrica [46]:

- Monopala: es el más barato con diferencia debido a que solo se tiene que fabricar una pala. Sin embargo comporta un desgaste mayor que los otros.
- Bipala: Son idóneas donde la corriente de aire sea siempre fuerte y constante.
- Tripala: Tres palas equidistantes a 120° . La pérdida de fricción tan baja (4%) supone rentable pese al coste. Generan mucha potencia a bajas velocidades.
- Multipala: Son muy silenciosos y son capaces de producir energía con poca intensidad de viento.

Otra de las clasificaciones dependerá del material de torre [46]:

- Torres tubulares de acero: son las más utilizadas a gran escala. Suelen tener 20 a 30 metros.
- Torres de celosía: son fabricados con perfiles de acero soldados. Se reduce el precio hasta la mitad con respecto a las torres de acero. Mala apariencia visual y no son utilizados en la actualidad.
- Torres de Hormigón debido al peso, son ideales para aerogeneradores de gran altura con grandes diámetros de rotor.
- Torres tensadas con vientos: destinado para pequeña escala ya que se ahorra coste de material.

Las torres de celosía y las de mástil son los que ofrecen menos resistencia al viento y por lo tanto soportan menores cargas aerodinámicas.

3.2.3 Energías renovables del futuro

Poco a poco, los aeropuertos españoles están usando como ejemplo a seguir aeropuertos sostenibles de todo el mundo.

Aeropuertos como el de las Isla Galápagos [47], en Ecuador, el cuál fue nombrado como el primer aeropuerto ecológico a causa de su funcionamiento 100% con energías renovables, es el mejor referente a la hora de adoptar medidas más sostenibles.

Se calcula que para el año 2.050, las energías renovables serán la principal fuente de electricidad en el mundo. Pero las actuales plantas solares y eólicas pronto se complementarán con otras fuentes de energía que no dependen de las condiciones meteorológicas. La solar, la eólica y la hidroeléctrica son las energías sostenibles más conocidas y utilizadas. No obstante, existen muchas otras más energías las cuáles se puede sacar aprovechamiento en el futuro. La biomasa, la geotérmica y la mareomotriz son algunos ejemplos.

Al ser un proyecto en el aeropuerto de Lanzarote, donde la disponibilidad del mar es inmediata y totalmente accesible, este apartado se centrará en estudiar las energías de posible aprovechamiento del agua. Los mares prometen convertirse en una de las grandes fuentes de energías renovables.

3.2.3.1. *Energía undimotriz*

La energía de las olas se está convirtiendo en un campo de investigación de interés. El movimiento del oleaje hace ascender y descender las boyas que penden de unos brazos conectados a la plataforma principal. Allí se activa una turbina eléctrica [48].

Otra tecnología que aprovecha la energía cinética de las olas es la mWave. La estructura de ésta, es instalada en el fondo marino. El movimiento de las olas empuja el aire en el interior de unas membranas hacia un conducto, moviendo una turbina en el proceso.

3.2.3.2. *Energía mareomotriz*

La energía mareomotriz se produce gracias al movimiento generado por las mareas, esta energía es aprovechada por turbinas, las cuales a su vez mueven la mecánica de un alternador que genera energía eléctrica, finalmente este último está conectado con una central en tierra que distribuye la energía hacia la comunidad y las industrias. Las instalaciones se ubican por debajo de los océanos aprovechando las corrientes marinas [49].

3.2.3.3. *Energía osmótica*

En primer lugar, la energía osmótica permitiría aprovechar el diferencial entre agua dulce y agua salada de los ríos que desembocan en el mar. En la electrodiálisis inversa, una membrana nanoporosa repele los iones de sal negativos y deja pasar los positivos, que viajan al otro lado para compensar la diferencia de salinidad. Esto se traduce en un diferencial de potencia que genera

un voltaje. El elemental problema de esta solución es la inexistencia de ríos en Lanzarote, la ubicación del proyecto en cuestión [50].

3.2.3.4. Bioenergía

Los desechos orgánicos son otra fuente de energía potencial, gracias a la acción de organismos vivos. Al alimentarse de los residuos, las bacterias generan electrones que pueden aprovecharse para generar electricidad. Para ello, se puede utilizar biomasa, o incluso, residuos de café [51].

3.2.3.5. Energía del espacio exterior

Adoptando una visión más futurista, se podría buscar la energía en el espacio exterior. En el espacio siempre es de día, y una estación solar con placas solares podría emitir la energía recolectada en forma de ondas electromagnéticas a cualquier punto del planeta [52].

Por último, como un ejemplo práctico a implantar en el aeropuerto de Lanzarote, las “baldosas inteligentes”. Nuestras pisadas crean energía cinética al impactar el pie con el pavimento. Si la baldosa sobre la que pisamos fuese capaz de transformar y almacenar la energía de esa pisada, el simple hecho de moverse por el aeropuerto (sabiendo que las terminales son visitadas por una gran multitud de viajeros al día) mejoraría nuestro ahorro energético. El aeropuerto de Heathrow ya utiliza las pisadas de sus clientes para iluminarse.

Se podría concluir que, el aprovechamiento de las energías undimotriz y mareomotriz, sería la elección más favorable para incorporar más sostenibilidad al aeropuerto de Lanzarote. A causa de la ubicación del aeropuerto, justo a primera línea de costa, la instalación de todo lo necesario para generar estos tipos de energías renovables sería más fácil que en otros sitios de interior.

3.2.4 Consideraciones en la instalación

Como último apartado de esta segunda parte del capítulo, se expondrá la disposición, la decisión de modelo y cantidad de los elementos sostenibles para la captación de energía.

Como ya se ha estudiado en los apartados anteriores, los aerogeneradores de energía eólica y las placas fotovoltaicas son los elementos más comunes a la hora de ser sostenible a causa de su fácil uso e instalación.

Se analizarán los modelos más adecuados para el aeropuerto y se realizará un análisis para poder localizar el mejor punto donde instalar estos elementos.

Como aeropuerto de referencia, se tendrá el de La Palma [53], ya que, además de pertenecer a la misma zona (Las islas Canarias) por lo que las condiciones meteorológicas serán similares, fue el primer aeropuerto europeo en obtener energía de un recurso eólico como fuente primaria. aeropuerto de La Palma fue el aeropuerto español que más energía generó en el año 2.017, con un total de

2.241.916 kWh [54], seguido de Bilbao con 806.932 kWh. Es notable lo avanzado que está el aeropuerto canario comparado con el resto de aeropuertos españoles sostenibles.

3.2.4.1. Modelos

El aeropuerto de la Palma dispone, actualmente de dos aerogeneradores, los cuáles constituyen la principal fuente de energía del aeropuerto, mientras que la red eléctrica diesel, de Endesa-Unelco, servirá de apoyo por si fallara la primera.

Este es el objetivo al que se pretende llegar en Lanzarote, se hará posible con la implantación de energías sostenibles en él siguiendo los pasos de La Palma.

La instalación en La Palma, consta de dos aerogeneradores de Made, modelo AE-46/I, de 660 kW de potencia nominal, 3 palas y con torre de 45 m de altura. El rendimiento de estos molinos, ha sido notablemente positivo según los datos de Aena, por lo que se ha escogido este mismo modelo para implantar en Lanzarote. Se puede encontrar la ficha técnica de este modelo de aerogenerador en el anexo 43.

Seguidamente, para las placas fotovoltaicas, Aena tiene numerosos proyectos [56] para implantar este tipo de energía en los aeropuertos de su red (aunque La Palma es uno de los pocos aeropuertos con energía solar fotovoltaica). Fuera de territorio español, los aeropuertos de Dubái y la India son dos de los aeropuertos más desarrollados en esta energía, hasta tal punto que el segundo de ellos, es el primer aeropuerto totalmente alimentado por energía solar [57].

Para escoger el modelo de panel, se recurrió a los 5 paneles solares más potentes con tal de poder llegar al autoconsumo [58].

De entre todos los modelos mostrados en el anexo 45, el elegido para implantar en el aeropuerto de Lanzarote es el Sunpower SPR-X21-345 por sus grandes beneficios y óptimas características, con también, previsión de cara al futuro.

3.2.4.2. Ubicación y distribución

El proceso de elección del emplazamiento de un aerogenerador en una instalación aeroportuaria es una cuestión muy delicada debido a la importancia de la eliminación de obstáculos para que las aeronaves puedan realizar las maniobras de aterrizaje y despegue de una manera segura.

Este proceso comienza mediante el análisis del mapa de servidumbres del aeropuerto donde se estudien los diferentes espacios viables para la instalación de la instalación eólica en función de los condicionantes que establecen las servidumbres físicas y radioeléctricas del aeropuerto de Lanzarote. Es decir, los aerogeneradores sólo podrán emplazarse en aquella ubicación contenida dentro de la superficie horizontal del aeropuerto que cumplan con las distancias de seguridad establecidas.

Por un lado, se observará el mapa de servidumbres físicas, obtenido a partir de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, mostrado en la siguiente imagen. Al disponer del modelo específico elegido en el apartado 3.2.4.1., se conoce la altura que dispondrá el aerogenerador que se construiría en el aeropuerto de Lanzarote. Al medir 45 metros (incluyendo las palas), se podrán instalar los molinos a partir del margen de 45 metros de las servidumbres físicas. Este hecho, limita la zona en la que se puede emplazar el aerogenerador a la marcada en roja en el mapa. Se ha escogido éste como mejor emplazamiento ya que es un área visiblemente inutilizada y, al mismo tiempo, está relativamente cerca del aeropuerto, lo que ayudará a transformar la energía a partir de la central eléctrica del aeropuerto.



Figura 3.8. Simulación de la opción de ubicación de los aerogeneradores según las servidumbres físicas

Por el otro lado, analizando el mapa de servidumbres radioeléctricas a partir del plano del aeródromo-OACI proporcionado por la AIP del aeropuerto de Lanzarote mostrado a continuación, se puede observar que ninguno de los instrumentos se encuentra ubicado en la zona seleccionada a partir de las servidumbres físicas por lo que no se generarán impedimentos a la hora de la construcción.

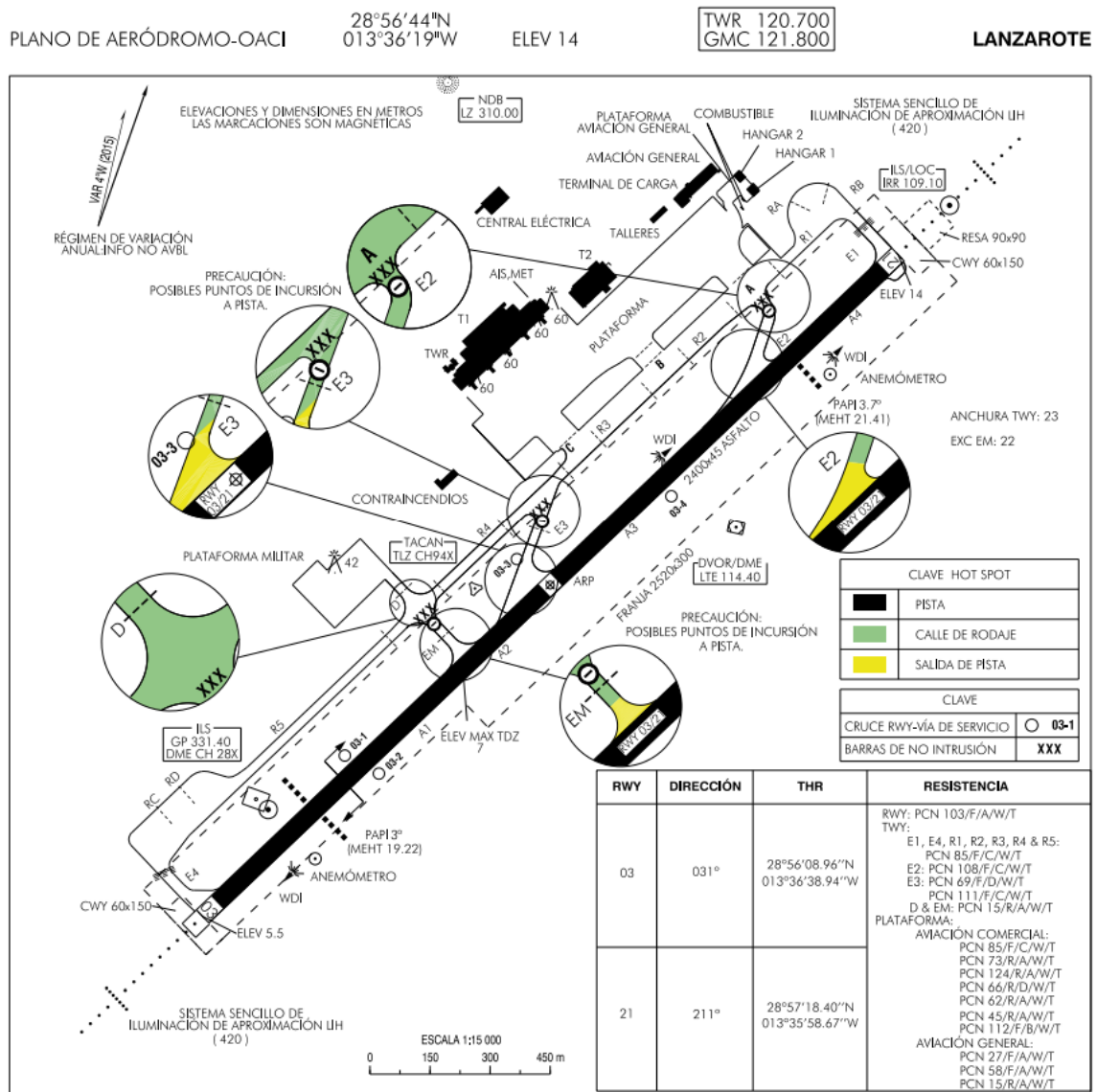


Figura 3.9. Mapa de servidumbres radioeléctricas en Lanzarote

Por lo que se concluye con un emplazamiento para los aerogeneradores en la zona marcada en rojo de la primera imagen, ya que no se pretende ubicar los molinos en el espacio de playa que separa la costa con la pista (por servidumbres físicas) ni, como se ha comentado anteriormente, no alejar demasiado los aerogeneradores de la terminal.

A la hora de escoger el número de aerogeneradores a instalar, éste dependerá de la superficie disponible en función de las servidumbres aeronáuticas del aeropuerto en cuestión, siempre teniendo en cuenta que los aerogeneradores se dispondrán en filas, perpendiculares a la dirección del viento predominante, separados entre ellos unos tres diámetros de rotor, lo que sería tres veces 46 m, 138 metros en total. Se llega a la conclusión de que se pueden construir 5 aerogeneradores en fila partiendo de conocer la medida en línea recta en el área deseada, la cual es de 758 metros. Al dividir esta longitud entre los 138 metros de separación que debe de haber entre molinos, esto resulta en 5

aerogeneradores. Con esta separación se trata de evitar que las turbulencias provocadas en el viento por cada máquina afecten al resto de aerogeneradores. Por la misma razón, la separación entre filas paralelas de aerogeneradores suele ser superior a siete diámetros de rotor, 322 metros. Se plantean dos escenarios donde en uno se plantea una única línea de 5 aerogeneradores y otro escenario con 2 líneas paralelas y un total de 10 aerogeneradores en paralelo.

La elección de 5 aerogeneradores es la solución más óptima ya que el aeropuerto de Lanzarote no siente la necesidad de tanta energía comparándolo con el aeropuerto de La Palma, el cual dispone de una pista y 2 aerogeneradores. Se puede visualizar la solución en el anexo 46.

Todos los casos es obligatorio realizar un estudio de seguridad operacional y estudio radioeléctrico que garantice que la instalación eólica no supone un peligro para las aeronaves y que la señal de las instalaciones radioeléctricas no se ve afectada, el cual deberá presentarse para su aprobación a la autoridad aeronáutica nacional.

En el caso de los paneles fotovoltaicos, su ubicación es mucho más libre ya que se implantarían en el terreno a nivel del suelo. El único factor a tener en cuenta a la hora de emplazar las placas, es el posible reflejo que pueden probar éstas a los pilotos si están inclinadas un cierto grado. Este estudio no estará representado en el proyecto ya que está fuera de nuestro análisis.

3.3 Estimaciones de generación energética

Los costes del despliegue de un proyecto de tales magnitudes como el analizado en este documento, son largos y complejos de analizar por todos los elementos y factores que hay que tener en cuenta a la hora de realizar el cálculo. Al estar fuera de nuestro foco de alcance, se tomará como ejemplo proyectos relacionados que han implantado el mismo modelo que se instalará en el aeropuerto canario. Endesa construyó tres parques eólicos en Ávila [63], proyecto el cual significó el coste de 40 millones de euros para 74 aerogeneradores del mismo modelo escogido para el aeropuerto canario. Realizando una operación sencilla, resulta un coste de 0,54 millones por molino, es decir, un total de 2,7 millones de euros para los 5 aerogeneradores previstos. Con tal de comprobar la validez de esta cifra, se comparará con otro proyecto, esta vez en Teruel [64].

En este caso, las magnitudes del proyectos fueron menores al anterior, con 38 aerogeneradores y un coste total de 21,46 millones de euros. Repitiendo la misma operación que en el anterior, resulta en 0,56 millones por molina lo que significan 2,82 millones de euros por una simulación de 5 aerogeneradores en el aeropuerto canario.

Al concluir con 2 cifras muy parecidas de coste, se puede estimar un coste en la implantación de los 5 aerogenerados de unos 2,75 millones de euros (una media entre los dos costes resultantes).

En este apartado se va a estimar el coste que supondría las instalaciones eólicas mostrado en las siguientes tablas.

Tabla 3.4. Instalación

Numero de aero.	3
Viento medio	6,1
Duracion	20 años
P nom	660KWH
P(at 6.1m/s) eff	30KWH
Anual	53436

Tabla 3.5. Estimación

	Consumo[GWh]	COSTE ENERGIA [eur]	Emisiones [T Co2]	EOLICA[KwH]	COSTE EOLICA
10 AÑOS	183,1	7543720	55820,5	48092400	6225000
20 AÑOS	183,1	7543720	70150,67	48092400	10000
30 AÑOS	183,1	7543720	84480,84	48092400	6225000
40 AÑOS	183,1	7543720	98820,01	48092400	10000
50 AÑOS	183,1	7543720	113150,18	48092400	6225000
TOTAL	915,5	37718600	422422,2	240462000	18695000

3.4. Alternativas: tratamiento de residuos/material

Dentro de la sostenibilidad de un aeropuerto, no solo se tiene en cuenta las energías renovables y consumo de la electricidad en todo el conjunto aeroportuario. Hay otros múltiples elementos que afectan al grado de sostenibilidad de un aeropuerto, como es la gestión y tratamiento de residuos y, una acción no muy extendida por Europa, que sería el reciclaje de aeronaves. A continuación, gracias a los datos proporcionados por Aena, se expondrá la situación que se vive actualmente en el aeropuerto de Lanzarote referente a los residuos y, además, se expondrán ideas de futuro para mejorar la situación descrita.

3.4.1. Situación actual

En esta primera parte del apartado, se describirá la situación actual en el aeropuerto de Lanzarote, el cual ha colocado en sus edificios contenedores diferenciados para la recogida selectiva de residuos (vidrio, papel y cartón, plástico, residuos orgánicos y pilas).

El Aeropuerto de Lanzarote, a través del observatorio de Reserva de Biosfera, está liderando desde hace años numerosas iniciativas en relación con la minimización de residuos y en particular del consumo del plástico.

Los residuos orgánicos, inorgánicos y peligrosos (baterías, aceite mineral usado, fluorescentes, neumáticos, etc.) se almacenan separadamente en una zona denominada Punto Limpio, que está acondicionada de acuerdo con la Ley de Residuos vigente.

Una vez almacenados, los residuos se entregan a gestores autorizados. De esta forma, se garantiza el reciclado, tratamiento, reutilización o depósito en vertedero legal y controlado de sus residuos.

En relación a la minimización de estos residuos, el Aeropuerto de Lanzarote además ha sido pionero al ser el primer aeropuerto que ha implementado la iniciativa en su sala Vip de cero envases plásticos.

2.4.1.1. Residuos no peligrosos

Los residuos asimilables a urbanos generados por el aeropuerto son almacenados en condiciones apropiadas y en contenedores de recogida adecuados para este tipo de residuos. El aeropuerto cuenta con contenedores de recogida selectiva tanto en lado tierra como en lado aire, además, el punto limpio dispone de contenedores y compactadores para estos residuos.

El tiempo de almacenamiento no supera los dos años en ningún caso ya que entre retiradas se deja un espacio temporal muy corto. La recogida de los residuos asimilables a urbanos (restos orgánicos, plástico, papel y cartón, vidrio, neumáticos, chatarra, lodos procedentes de depuradora, etc.) la realiza una empresa contratada e inscrita en el registro de gestores de residuos no peligrosos del Gobierno de Canarias, quien, después del almacenamiento temporal en el punto limpio del aeropuerto, los entrega a vertedero autorizado o a gestor final autorizado.

En el aeropuerto se lleva a cabo un control mensual de las cantidades de residuos gestionadas y anualmente envía a la Consejería de Medioambiente del Gobierno de Canarias [59] una declaración de la cantidad de residuos generada. Ya que se dispone de una estación depuradora, el aeropuerto está inscrito en el registro de productores de lodos de depuradoras del Gobierno de Canarias.

En relación a los residuos inertes, dado que la mayoría de las obras realizadas en el aeropuerto son llevadas a cabo por empresas externas, son estas quienes se encargan de la correcta gestión de los residuos que generan.

La mayor cantidad de residuos asimilables a urbanos segregados es la poda, seguida por el plástico, los neumáticos y los lodos para el año 2012.

2.4.1.2. Residuos peligrosos

Además de los residuos no peligrosos, por desgracia, existen los residuos peligrosos, los cuáles se estudiarán en este apartado. En el actual aeropuerto de Lanzarote se llevan a cabo numerosas actividades que generan residuos peligrosos: nocivos para el medioambiente y que necesitan una gestión adecuada en función de sus características.

El aeropuerto genera las siguientes clases de residuos peligrosos: aceites usados, filtros de aceite, material absorbente contaminado, tubos fluorescentes, envases plásticos y metálicos contaminados, envases a presión, baterías de plomo, pilas y acumuladores, residuos electrónicos (con componentes peligrosos), lodos procedentes de separadores de hidrocarburos, agua aceitosa procedente de separadores de hidrocarburos y sólidos procedentes de desarenadores y separadores de hidrocarburos.

Los residuos peligrosos están segregados en contenedores adecuados a la naturaleza de cada residuo que disponen de la correspondiente identificación y se encuentran en una superficie techada, pavimentada, impermeable y correctamente señalizada.

La mayor cantidad de residuos peligrosos segregados son los absorbentes, las baterías y los envases contaminados.

2.4.1.3. Almacenamiento de sustancias peligrosas

Las siguientes infraestructuras del aeropuerto se pueden usar como punto de almacenamiento de sustancias peligrosas o contaminantes.

El seguimiento de las zonas de almacenamiento de sustancias y productos peligrosos o contaminantes dependientes directamente del aeropuerto se realiza con partes de revisión del almacenamiento de sustancias y productos peligrosos trimestrales. Para aquellos no dependientes directamente de Aena, se lleva a cabo un control específico incluido en el propio control de empresas o instalaciones que realiza el vigilante ambiental.

3.4.2. Soluciones alternativas

Tal y como se ha comentado al principio de este capítulo, a continuación, se expresarán las soluciones alternativas que podría tomar el aeropuerto de Lanzarote.

3.4.1.1. Reciclaje de aeronaves

El proceso de reciclaje de aeronaves [60] permite reutilizar los valiosos materiales con los que se construyen los aviones durante el ciclo final de vida útil.

En la actualidad, el aeropuerto de Teruel se ha convertido en la mayor plataforma de estacionamiento, mantenimiento y reciclado de aeronaves de Europa, por lo que se escogerá a modo de ejemplo para entender mejor este concepto.

El proceso de reciclaje de aeronaves consta de tres etapas diferentes.

- El primer paso consiste en limpiar y descontaminar el avión, retirando sustancias peligrosas y materiales inflamables o explosivos.
- En la segunda fase de desmontaje, se retiran las partes reutilizables del avión, como los motores y el tren de aterrizaje
- Después de que el avión pase por estas dos primeras etapas, en teoría, es posible poner de nuevo en servicio el avión.

Todos estos pasos son los estipulados por el proyecto PAMELA (Process for advanced Management of End of Life of Airfract) dentro de las compañías TARMAS Aerosave.

En total, durante la fase de desmantelamiento, PAMELA extrajo del avión 61.000 kg de materiales reutilizables. Como resultado, al final de las tres fases solo quedó un 13 % del peso original del avión, que se clasificó como residuo no recuperable y se depositó en un vertedero.

Se puede demostrar con esta solución alternativa que los aviones pueden desmantelarse de forma segura y que sus materiales pueden ser reutilizables o reciclarse como materias primas secundarias, lo cual daría, en principio, un beneficio.

TARMAC es también una importante fuente de información para Airbus en todo lo que respecta al envejecimiento de los aviones y los cambios en las técnicas de desmantelamiento. Estos datos se envían a los ingenieros que trabajan al principio del ciclo de vida de los aviones y son una gran ayuda para mejorar el diseño, tanto de los actuales aviones como de los futuros. TARMAC [61], ha afrontado el troceado de un Boeing 747-400, de unos 25 años de antigüedad, en piezas de aluminio de unos 2,40 metros cada una, lo suficiente para transportarlas a una empresa de fundición.

3.4.1.2. Ciclo de la materia orgánica

El Aeropuerto de Bilbao [63] cuenta con una planta de compostaje destinada al reciclaje de residuos orgánicos. Puesta en servicio en 2011, esta planta trata in situ la materia orgánica de los residuos generados en el aeropuerto que mediante un tratamiento biológico nos permite obtener compost o abono orgánico. La materia que se composta proviene fundamentalmente de las cafeterías y restaurantes del aeropuerto, los restos de podas y césped de la jardinería del aeropuerto y los fangos de la depuradora de aguas residuales. La gran ventaja que proporciona el compostaje es ofrecer un destino valorizable a los residuos orgánicos, reduciendo los residuos urbanos y aprovechando así los recursos propios para producir abono orgánico de calidad que es utilizado en las zonas ajardinadas del aeropuerto. Así, por cada 100 kilos de residuo orgánico se obtienen 30 kilos de abono de manera que durante el último año en la planta de compostaje del aeropuerto la masa de materia tratada ha superado las 150 toneladas.

3.5. Conclusiones

La progresión a lo sostenible será un camino largo y no inmediato debido a razones políticas y otros intereses. Es por ello que toda consideración al medioambiente es necesario en cualquier proyecto ingenieril.

Alrededor del 70% del consumo energético mundial es de transporte, residencial y comercial, que son básicamente los sectores que engloba el sector aeronáutico ya que se pueden considerar como pequeñas ciudades.

La electricidad es la más predominante en el aeropuerto porque es necesaria para asegurar la seguridad de las operaciones aéreas y cubrir las necesidades de los pasajeros, siendo la climatización, la iluminación y los paneles informativos los grandes consumidores.

La predicción de los pasajeros para el Aeropuerto de Lanzarote, supondría un aumento del 26,21% de las emisiones de CO₂ no consiguiendo reducir las emisiones de Co₂ como se realizaría en un escenario sostenible.

La Energía Solar y Eólica se consideran, desde el punto de interés aeroportuario, las más viable. Descartadas Biogás, Biomasa Biofuel y Geo Térmica dado su poca eficiencia y rentabilidad.

De la Energía solar térmica solo sirve las de baja temperatura y solo para tema de climatización. Las placas fotovoltaicas en cambio pueden servir para generar energía eléctrica, sin embargo, el deslumbramiento pone en peligro la operatividad de la torre de control y de las aeronaves. Sin embargo, es un punto fuerte de estudio a consideración de la viabilidad de esta fuente

El modelo que más se ha desarrollado hasta la fecha es el de eje horizontal y tripala, optándose como solución para nuestro modelo sostenible. La generación de energía eléctrica por los aerogeneradores a un plazo de 50 años aeropuerto de Lanzarote es positiva, obteniendo una amortización a los 10 años debido que el exceso de energía producida por estas se podría suministrar a la red general.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

Este primer capítulo del proyecto ha servido de análisis para poder entender la magnitud del proyecto.

Para resumir el capítulo, primeramente, se ha presentado los problemas que presentan los aeropuertos nacionales y se ha decidido que la solución más óptima para resolverlos, es construir una pista sobre el mar. Se ha decidido escoger el aeropuerto de Lanzarote de entre otros muchos para acondicionar la pista. Además, se han analizado las predicciones futuras resultando en un aumento de la demanda y también, se ha realizado un estudio exhaustivo del aeropuerto de Lanzarote mostrando datos y estadísticas. Por último, se ha expuesto cómo impactaría el hecho de construir una pista sobre el mar al medio ambiente abarcando todos los ámbitos que han sido posibles.

Para terminar el capítulo, se expondrán varias de las conclusiones a las que se han llegado después de la elaboración de esta primera parte del proyecto.

La solución de construir una pista sobre el mar es bastante arriesgada en términos de dificultad, por la poca información disponible respecto al tema, la poca experiencia de los ingenieros con un proyecto así, etc. Podría haberse escogido una solución más factible que ya haya sido implantada en otros aeropuertos, por lo que su análisis no hubiese sido complicado de realizar. Algunos ejemplos de soluciones comunes son la construcción de un nuevo aeropuerto, una pista terrestre o una ampliación de la terminal, que son los proyectos que generalmente se realizan en los aeropuertos nacionales cuando hay problemas de demoras, capacidad y/o demanda. Pero la construcción de una pista sobre el mar suponía un reto donde se abarcarían varios sectores interesantes.

Realizar este proyecto a nivel nacional, es una decisión difícil de tomar (ya que ya se han descartado pistas sobre el mar en Barcelona y en el mismo aeropuerto de Lanzarote). Enfocar la construcción de una pista sobre el mar a nivel global, aumentaría la posibilidad de éxito en la ejecución. Por ejemplo, en los países árabes, la implantación de una pista de este estilo sería de interés para muchos empresarios, sobre todo en Dubái. Con grandes aportaciones económicas, el alto nivel de innovación en este tipo de ciudades, el interés turístico y el tipo de cliente que visitan estos lugares.

Por otro lado, el análisis de aumento de capacidad indica que deben de tomarse soluciones preventivas a medio plazo y, Lanzarote, no está preparado para soportarlo. No solamente hablando de capacidad aeroportuaria, sino de capacidad residencial y turística de la isla.

Por último, durante el capítulo, no se ha tenido en cuenta la gestión del tráfico aéreo, pero es un factor fundamental a la hora de estudiar las demoras y capacidades. Las soluciones que se pueden tomar en los aeropuertos con problemas de capacidad, demanda y/o demoras no solo se realizan en tierra. Varios aeropuertos europeos, han tomado medidas que se centran en la gestión del tránsito aéreo y en las rutas que toman las aeronaves.

Durante la primera parte del segundo capítulo, se ha podido demostrar que la orientación que mejor se adapta a todos los elementos para la nueva pista en el aeropuerto de Lanzarote, es disponer la nueva pista en paralelo a la actual.

El factor de ruido es el más restrictivo de todos. Actualmente en Lanzarote ya existen problemas de ruido en la pista. Nuestra solución agravaría más aún la situación actual. Queda pendiente el estudio de una solución para este problema. Como inspiración, se podría consultar la solución que se propuso en Heathrow, la cual ejecuta una política de alteración de la pista dependiendo de la franja horaria para afectar lo mínimo sonoramente a la población.

Dado que nuestra pista está destinada a aeronaves grandes, y la longitud de la pista será equiparable a la pista actual, no ha habido tanta restricción en la dirección del viento. Por lo que muchas soluciones propuestas, son válidas, lo que no se descarta escoger una de éstas en un futuro.

Uno de los beneficios de construir la pista sobre el mar es que, por una banda, al crear la isla artificial, ya se tienen en cuenta las servidumbres que son restrictivas.

Por otra banda, como está situado en medio del mar, no se presentan obstáculos en un rango cercano, ya que todo lo que hay a la vista, es mar.

Además, las superficies limitadoras de la pista actual son aprovechables, a cause de la corta distancia entre las dos pistas paralelas.

Como último punto del apartado, se han observado las limitaciones que existen al tener en cuenta la orografía del entorno del aeropuerto y es notable el alto grado de restricción que mostraba el estudio de las profundidades del mar. Este hecho, ha provocado acercar la pista a la orilla del mar con moderación. Otros elementos como el nivel del mar y los sedimentos que se encuentran en el fondo marino, no se han destacado como afectaciones graves.

En la segunda parte del capítulo, la elección de una aeronave como referencia para calcular las dimensiones de la pista ha sido una de las decisiones más complejas. Partiendo del hecho de que oficialmente el aeropuerto de Lanzarote es clave 4D, pero vuelan aeronaves del tipo 4E, se planteó la posibilidad de construir una pista más grande con tal de poder alojar a estas aeronaves. Pero se concluyó en que no merecía la pena por la poca frecuencia de este tipo de aviones en la isla canaria.

Por último, el capítulo ha concluido con la elección de la conexión con tierra. La aproximación gráfica resultante fue difícil de conseguir a consecuencia de las limitaciones de profundidad marina mostrados en otros apartados. Se pudieron mostrar dos posibles escenarios concluyendo en la elección de la isla artificial a causa de sus beneficios a medio/largo plazo. No obstante, este beneficio no resta a otros factores a tener en cuenta como son los altos costes y complejidad del proyecto en el mar.

La progresión a lo sostenible será un camino largo y no inmediato debido a razones políticas y otros intereses. Es por ello que toda consideración al medioambiente es necesario en cualquier proyecto ingenieril.

Alrededor del 70% del consumo energético mundial es de transporte, residencial y comercial, que son básicamente los sectores que engloba el sector aeronáutico ya que se pueden considerar como pequeñas ciudades.

La electricidad es la más predominante en el aeropuerto porque es necesaria para asegurar la seguridad de las operaciones aéreas y cubrir las necesidades de los pasajeros, siendo la climatización, la iluminación y los paneles informativos los grandes consumidores.

La predicción de los pasajeros para el Aeropuerto de Lanzarote, supondría un aumento del 26,21% de las emisiones de CO₂ no consiguiendo reducir las emisiones de Co₂ como se realizaría en un escenario sostenible.

La Energía Solar y Eólica se consideran, desde el punto de interés aeroportuario, las más viable. Descartadas Biogás, Biomasa Biofuel y Geo Térmica dado su poca eficiencia y rentabilidad.

De la Energía solar térmica solo sirve las de baja temperatura y solo para tema de climatización. Las placas fotovoltaicas en cambio pueden servir para generar energía eléctrica, sin embargo, el deslumbramiento pone en peligro la operatividad de la torre de control y de las aeronaves. Sin embargo, es un punto fuerte de estudio a consideración de la viabilidad de esta fuente

El modelo que más se ha desarrollado hasta la fecha es el de eje horizontal y tripala, optándose como solución para nuestro modelo sostenible. La generación de energía eléctrica por los aerogeneradores a un plazo de 50 años aeropuerto de Lanzarote es positiva, obteniendo una amortización a los 10 años debido que el exceso de energía producida por estas se podría suministrar a la red general.

Después de la elaboración del proyecto entero, se ha concluido que se abarcan diferentes ámbitos, no solo de la aeronáutica, y que cada uno de los apartados podría dar para un estudio más avanzado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://www.iata.org/pressroom/pr/Documents/2018-10-02-01-sp.pdf>
- [2] <https://www.torsesa.com/se-mantiene-el-crecimiento-del-sector-aeronautico/>
- [3] <http://www.aena.es/es/corporativa/aena-presenta-plan-estrategico-2018-2021-objetivo-consolidar-fuerte-crecimiento-e-impulsar-nuevas-lineas-negocio-generadoras-valor.html?p=1237548067436>
- [4] <https://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2019-08-08-01.aspx>
- [5] <https://www.nlarenas.com/2019/02/aeropuertos-del-mundo-mas-pasajeros-2018/>
- [6] https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/eaer-2019_0.pdf
- [7] <https://www.flightstats.com/v2/monthly-performance-reports/airports>
- [8] <https://www.eurocontrol.int/publication/top-stats-august-2019>
- [9] <https://ansperformance.eu/prcq/ops-en-route/>
- [10] <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-07/coda-diget-q1-2019.pdf>
- [11] <http://www.aerocivil.gov.co/atencion/estadisticas-de-las-actividades-aeronauticas/Cumplimiento/Circular%20No.%202%20-Anexo.pdf>
- [12] <https://www.icao.int/SAM/eDocuments/4ATFM%20Guia%20Calculo%20Cap%20Aerop%20y%20Sect%20ATC.pdf>
- [13] https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/dora_mfom_0.pdf
- [14] <https://www.europapress.es/islas-canarias/noticia-aena-dice-no-justifica-construccion-nuevas-pistas-aeropuertos-tenerife-sur-gran-canaria-20180514144557.html>
- [15] <https://www.lancelotdigital.com/opinion/isla-artificial-para-agrandar-el-aeropuerto-de-guacimeta-lanzarote-durante-el-año-2.018>
- [16] https://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto_C%C3%A9sar_Manrique_Lanzarote
- [17] <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=10823>
- [18] <http://www.fomento.gob.es/BE/?nivel=2&orden=03000000>
- [19] https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_determinaci%C3%B3n
- [20] <https://www.fomento.gob.es/areas-de-actividad/aviacion-civil/politicas-aeroportuarias/integracion-territorial-aeroportuaria/planes-directores/plan-director-del-aeropuerto-de-lanzarote>
- [21] <https://juristas-ruidos.org/normativas/>
https://ecodes.org/noticias/efectos-de-la-contaminacion-acustica-sobre-la-salud#.XaN8_PexXeQ
- [22] <https://ingenieriaaeroportuaria.blogs.upv.es/2013/04/24/tema-6-orientacion-de-pistas>
- [23] <https://es.slideshare.net/gonzalopinto7/topografia-en-aeropuertos>
- [24] <https://ingenieriaaeroportuaria.blogs.upv.es/2013/04/24/tema-6-orientacion-de-pistas/>
- [25] [http://www.datosdelanzarote.com/Uploads/doc/Rosa-de-los-vientos.-Estaci%C3%B3n-Metereol%C3%B3gica-Aeropuerto-de-Lanzarote-\(2018\)-20190329143808227ROSAS-DE-VIENTO-C029O-Aeropuerto-Lanzarote-2018.pd](http://www.datosdelanzarote.com/Uploads/doc/Rosa-de-los-vientos.-Estaci%C3%B3n-Metereol%C3%B3gica-Aeropuerto-de-Lanzarote-(2018)-20190329143808227ROSAS-DE-VIENTO-C029O-Aeropuerto-Lanzarote-2018.pd)

- [26] <https://www.fomento.gob.es/areas-de-actividad/aviacion-civil/politicas-aeroportuarias/integracion-territorial-aeroportuaria/planes-directores/plan-director-del-aeropuerto-de-lanzarote>
- [27] <https://www.lavanguardia.com/medio-ambiente/20131008/54388611582/ruido-aeropuertos-aumenta-enfermedades-corazon-contaminacion-acustica-infartos.html>
- [28] <https://juristas-ruidos.org/normativas/>
https://ecodes.org/noticias/efectos-de-la-contaminacion-acustica-sobre-la-salud#.XaN8_PexXeQ
- [29] <https://juristas-ruidos.org/normativas/>
https://ecodes.org/noticias/efectos-de-la-contaminacion-acustica-sobre-la-salud#.XaN8_PexXeQ
- [30] <https://visor.grafcan.es/visor3D/default.php?svc=svcEcoCarto&lat=28.944885487734233&lng=-13.607981622301606&range=3180.7265625>
- [31] <https://www.meteorologiaenred.com/nuevo-estudio-del-aumento-del-nivel-del-mar.html>
- [32] <https://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/anexos-oaci/anexo-14-vol-i.pdf>
- [33] https://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/C0126/descargar.php?secc=0&id=C0126&id_inc=799
- [34] https://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/C0126/descargar.php?secc=0&id=C0126&id_inc=22628
- [35] <https://www.airport-technology.com/projects/macau-international-airport-macau/>
- [36] <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/icien.1998.126.5.35>
- [37] <https://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/anexos-oaci/anexo-14-vol-i.pdf>
- [38] <https://www.iea.org/weo2018/scenarios/>
- [39] <https://www.iea.org/weo/>
- [40] <https://www.eia.gov/energyexplained/>
- [41] <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/>
- [42] <https://www.mdpi.com/1996-1073/9/5/349>
- [43] https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/pdf/7F631EDE-C4EE-4A31-A4B0-4A509C98921B/55921/Necefuturas.pdf
- [44] <https://solar-energia.net/>
- [45] <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>
- [46] <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/112014/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [47] https://www.abc.es/natural/vivirenverde/abci-primer-aeropuerto-ecologico-mundo-esta-islas-galapagos-201901161228_noticia.html
- [48] <https://pasatealoelectrico.es/2017/10/19/energia-undimotriz/>
- [49] <https://www.energyavm.es/que-es-la-energia-mareomotriz/>
- [50] https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_azul
- [51] <http://www.rba-ambiental.com.ar/bioenergia/que-es-la-bioenergia/>
- [52] https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_espacial
- [53] <http://www.aena.es/es/aeropuerto-la-palma/medio-ambiente.html>

- [54] <http://www.aena.es/csee/ccurl/589/83/Gestion-Ambiental-Aena2017.pdf>
- [55] https://www.thewindpower.net/turbine_es_48_made_ae-46-i.php
- [56] <https://www.elindependiente.com/economia/2019/04/13/el-plan-para-llenar-los-aeropuertos-de-espana-de-placas-solares/>
- [57] <https://ovacen.com/aeropuerto-energia-solar/>
- [58] <https://www.businessinsider.es/5-paneles-solares-potentes-dar-salto-autoconsumo-460585>
- [59] <http://www.aena.es/csee/ccurl/589/83/Gestion-Ambiental-Aena2017.pdf>
- [60] https://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-eco-innovation/good-practices/eu/719_es
- [61] <https://gestoresderesiduos.org/noticias/asi-se-recicla-un-avion>
- [62] <http://www.aena.es/csee/ccurl/589/83/Gestion-Ambiental-Aena2017.pdf>
- [63] <https://www.energias-renovables.com/eolica/endesa-inaugura-tres-parques-eolicos-en-vila>
- [64] <https://www.energias-renovables.com/eolica/ecyr-pondra-en-servicio-dos-parques-eolicos>

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de pasajeros en agosto durante 2018 y 2019 en España

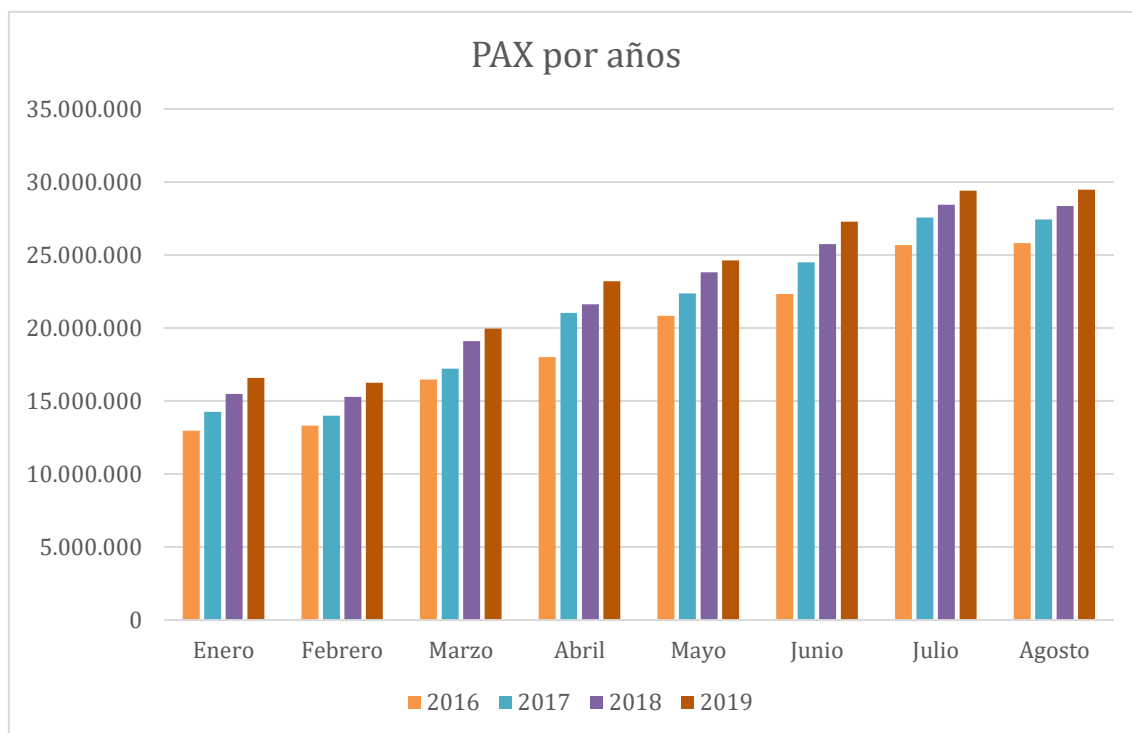
Aeropuertos	PAX agosto 2018	PAX agosto 2019	% Inc 2019 /s 2018
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	5.387.285	5.790.264	7,48%
BARCELONA-EL PRAT J.T.	5.149.419	5.410.064	5,06%
PALMA DE MALLORCA	4.228.664	4.281.185	1,24%
MALAGA-COSTA DEL SOL	2.118.619	2.205.899	4,12%
ALICANTE-ELCHE	1.562.129	1.692.011	8,31%
IBIZA	1.366.572	1.376.350	0,72%
GRAN CANARIA	1.145.731	1.082.402	-5,53%
TENERIFE-SUR	917.107	912.874	-0,46%
VALENCIA	824.392	889.748	7,93%
MENORCA	662.282	689.553	4,12%
LANZAROTE-CESAR MANRIQUE	685.221	686.632	0,21%
SEVILLA	525.791	632.775	20,35%
BILBAO	523.101	566.611	8,32%
TENERIFE-NORTE	535.910	565.849	5,59%
FUERTEVENTURA	570.461	527.838	-7,47%
GIRONA	315.408	305.203	-3,24%
SANTIAGO	267.549	295.425	10,42%
REUS	185.051	196.893	6,40%
ASTURIAS	148.107	144.496	-2,44%
AEROPUERTO INTL. REGIÓN MURCIA	157.262	141.304	-10,15%
JEREZ DE LA FRONTERA	132.612	132.805	0,15%
LA PALMA	132.346	132.192	-0,12%
ALMERIA	128.651	127.722	-0,72%
SEVE BALLESTEROS-SANTANDER	114.345	120.979	5,80%
A CORUÑA	109.371	120.144	9,85%
FGL GRANADA-JAEN	92.518	106.311	14,91%
VIGO	121.939	95.761	-21,47%
ZARAGOZA	64.373	51.147	-20,55%
MELILLA	33.814	45.448	34,41%
EL HIERRO	26.245	29.861	13,78%
VALLADOLID	27.385	26.319	-3,89%
SAN SEBASTIAN	22.545	23.857	5,82%
VITORIA	13.559	19.576	44,38%
PAMPLONA	14.265	14.141	-0,87%

LA GOMERA	9.336	11.543	23,64%
LEON	6.190	6.676	7,85%
CEUTA-HELIPUERTO	4.997	5.679	13,65%
BADAJOS	5.208	5.027	-3,48%
ALGECIRAS-HELIPUERTO	2.857	3.098	8,44%
BURGOS	2.016	2.092	3,77%
SALAMANCA	2.772	2.075	-25,14%
LOGROÑO	1.499	1.487	-0,80%
CORDOBA	600	817	36,17%
SABADELL	342	615	79,82%
SON BONET	675	532	-21,19%
MADRID-CUATRO VIENTOS	245	319	30,20%
ALBACETE	19	41	115,79%
HUESCA-PIRINEOS	11	17	54,55%
	28.346.796	29.479.657	4,00%

Anexo 2. Tabla de pasajeros por mes en los aeropuertos españoles

Mes	2016	2017	2018	2019	% Inc 2019 /s 2018	% Inc 2019 /s 2017	% Inc 2019 /s 2016
Enero	12.958.967	14.251.712	15.496.640	16.583.200	7,01%	16,36%	27,97%
Febrero	13.313.211	13.991.764	15.283.567	16.258.832	6,38%	16,20%	22,13%
Marzo	16.469.348	17.210.832	19.103.382	19.966.010	4,52%	16,01%	21,23%
Abril	18.001.644	21.025.206	21.632.843	23.206.276	7,27%	10,37%	28,91%
Mayo	20.832.263	22.376.830	23.807.119	24.626.673	3,44%	10,05%	18,21%
Junio	22.325.636	24.498.985	25.744.475	27.275.553	5,95%	11,33%	22,17%
Julio	25.674.382	27.565.683	28.447.609	29.409.649	3,38%	6,69%	14,55%
Agosto	25.820.992	27.426.487	28.346.796	29.479.657	4,00%	7,49%	14,17%
	155.396.443	168.347.499	177.862.431	186.805.850	5,03%	10,96%	20,21%

Anexo 3. Gráfico de pasajeros por mes en los aeropuertos españoles

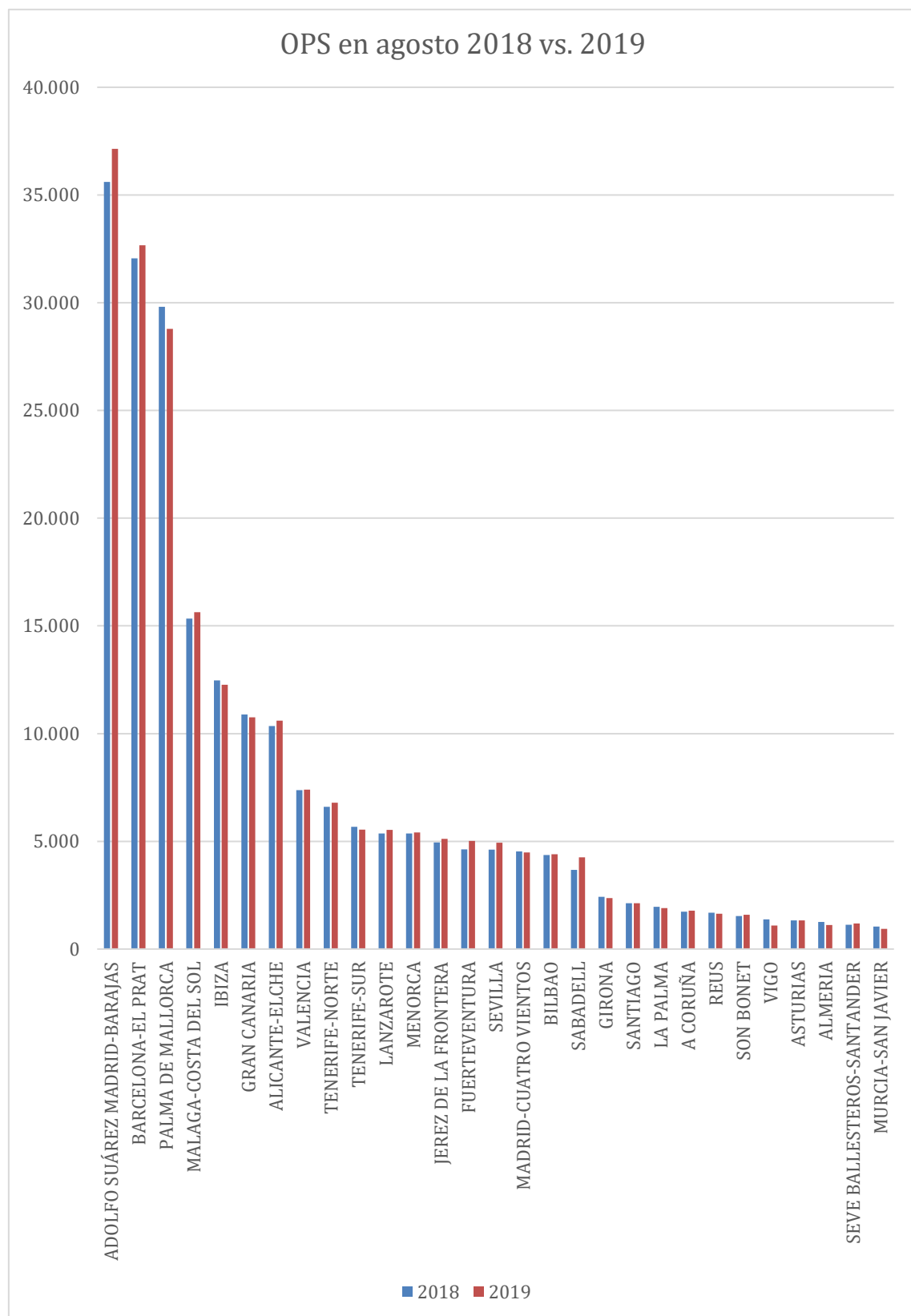


Anexo 4. Tabla de operaciones en agosto durante 2018 y 2019 en España

Aeropuertos	OPS agosto 2018	OPS agosto 2019	% Inc 2019 /s 2018
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	35.606	37.140	4,31%
BARCELONA-EL PRAT	32.060	32.673	1,91%
PALMA DE MALLORCA	29.806	28.790	-3,41%
MALAGA-COSTA DEL SOL	15.340	15.641	1,96%
IBIZA	12.470	12.263	-1,66%
GRAN CANARIA	10.891	10.757	-1,23%
ALICANTE-ELCHE	10.350	10.606	2,47%
VALENCIA	7.372	7.405	0,45%
TENERIFE-NORTE	6.607	6.788	2,74%
TENERIFE-SUR	5.676	5.541	-2,38%
LANZAROTE	5.370	5.528	2,94%
MENORCA	5.360	5.417	1,06%
JEREZ DE LA FRONTERA	4.946	5.113	3,38%
FUERTEVENTURA	4.624	5.020	8,56%
SEVILLA	4.616	4.939	7,00%
MADRID-CUATRO VIENTOS	4.534	4.484	-1,10%
BILBAO	4.367	4.396	0,66%

SABADELL	3.670	4.253	15,89%
GIRONA	2.431	2.366	-2,67%
SANTIAGO	2.122	2.130	0,38%
LA PALMA	1.958	1.903	-2,81%
A CORUÑA	1.732	1.785	3,06%
REUS	1.687	1.641	-2,73%
SON BONET	1.535	1.587	3,39%
VIGO	1.377	1.088	-20,99%
ASTURIAS	1.329	1.325	-0,30%
ALMERIA	1.259	1.120	-11,04%
SEVE BALLESTEROS-SANTANDER	1.126	1.184	5,15%
MURCIA-SAN JAVIER	1.046	932	-10,90%
FGL GRANADA-JAEN	972	1.169	20,27%
HUESCA-PIRINEOS	970	657	-32,27%
ZARAGOZA	940	784	-16,60%
SALAMANCA	908	981	8,04%
VITORIA	823	969	17,74%
MELILLA	752	977	29,92%
VALLADOLID	668	724	8,38%
CORDOBA	604	878	45,36%
SAN SEBASTIAN	547	540	-1,28%
PAMPLONA	515	480	-6,80%
EL HIERRO	462	506	9,52%
CEUTA-HELIPUERTO	460	559	21,52%
BURGOS	402	358	-10,95%
LEON	377	355	-5,84%
LA GOMERA	314	350	11,46%
ALGECIRAS-HELIPUERTO	238	248	4,20%
BADAJOS	170	244	43,53%
LOGROÑO	98	124	26,53%
ALBACETE	12	20	66,67%
	231.499	234.738	1,40%

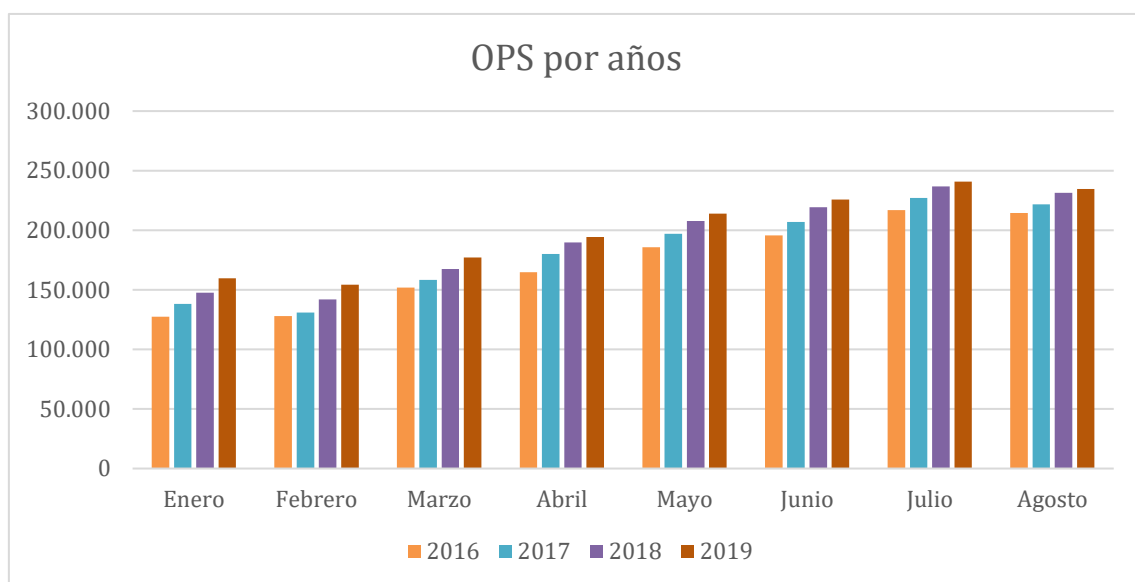
Anexo 5. Operaciones en los aeropuertos españoles 2018 vs 2019



Anexo 6. Tabla de operaciones por años y meses en España

Mes	2016	2017	2018	2019	% 2019 2018	Inc /s	% 2019 2017	Inc /s	% 2019 2016	Inc /s
Enero	127.290	138.158	147.651	159.558	8,06%		15,49%		25,35%	
Febrero	127.830	131.028	141.991	154.259	8,64%		17,73%		20,68%	
Marzo	151.743	158.274	167.382	177.185	5,86%		11,95%		16,77%	
Abril	164.811	180.064	189.704	194.422	2,49%		7,97%		17,97%	
Mayo	185.612	197.060	207.804	213.965	2,96%		8,58%		15,28%	
Junio	195.662	207.050	219.180	225.853	3,04%		9,08%		15,43%	
Julio	216.784	227.029	236.803	240.896	1,73%		6,11%		11,12%	
Agosto	214.581	221.742	231.499	234.738	1,40%		5,86%		9,39%	
	1.384.313	1.460.405	1.542.014	1.600.876	3,82%		9,62%		15,64%	

Anexo 7. Operaciones por años y meses en España

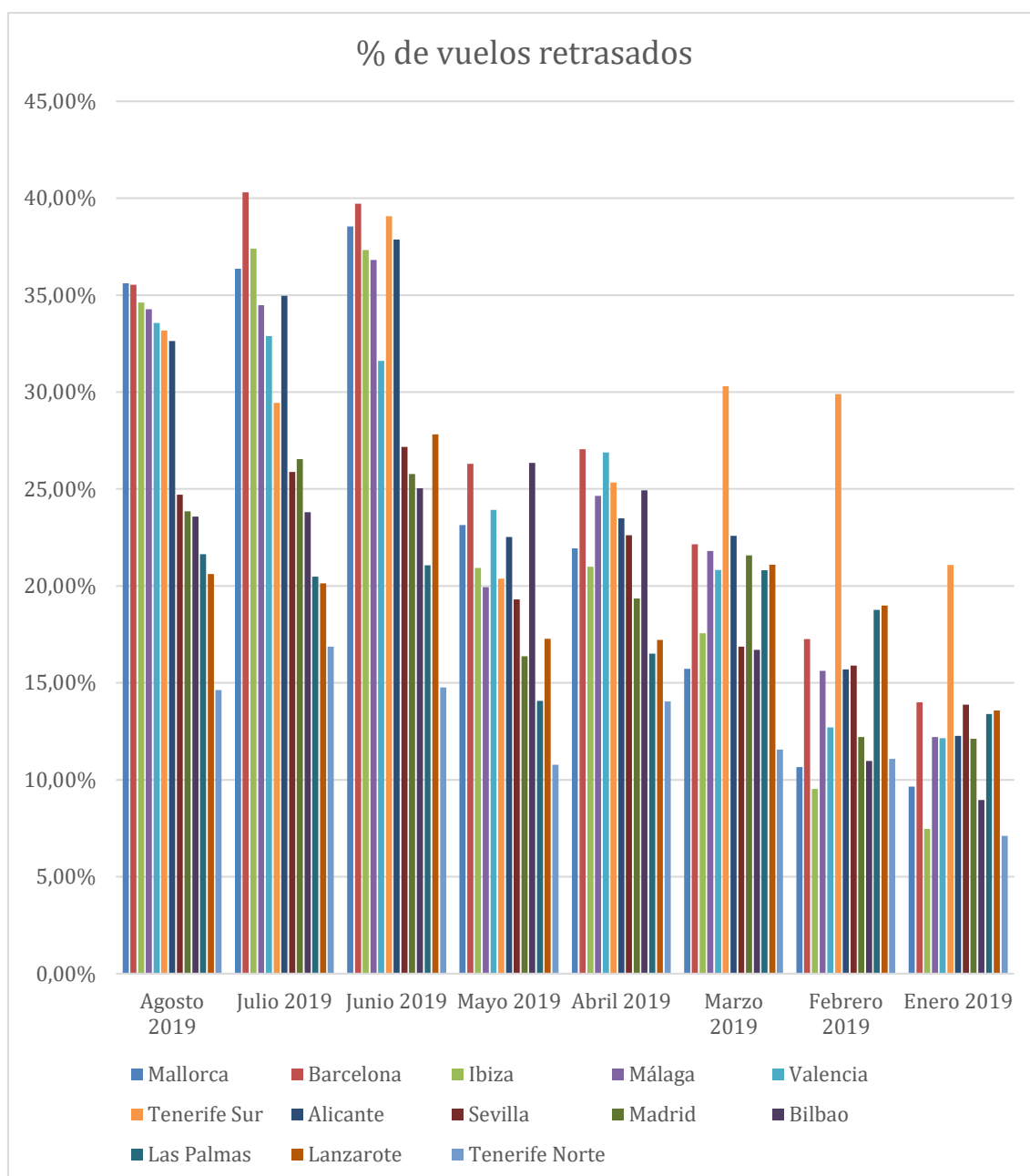


Anexo 8. Tabla de porcentaje de vuelos retrasados en España

Aeropuerto	% de vuelos retrasados más de 15 minutos							
	Agosto 2019	Julio 2019	Junio 2019	Mayo 2019	Abril 2019	Marzo 2019	Febrero 2019	Enero 2019
Mallorca	35,62%	36,37%	38,54%	23,14%	21,94%	15,73%	10,66%	9,64%
Barcelona	35,54%	40,31%	39,72%	26,30%	27,06%	22,15%	17,26%	14,00%
Ibiza	34,62%	37,41%	37,33%	20,93%	20,99%	17,56%	9,53%	7,46%
Málaga	34,27%	34,49%	36,82%	19,94%	24,65%	21,81%	15,62%	12,21%
Valencia	33,56%	32,89%	31,61%	23,92%	26,89%	20,82%	12,70%	12,14%
Tenerife Sur	33,17%	29,45%	39,07%	20,38%	25,34%	30,30%	29,89%	21,08%

Alicante	32,63%	34,96%	37,87%	22,52%	23,49%	22,58%	15,69%	12,26%
Sevilla	24,71%	25,88%	27,17%	19,31%	22,61%	16,87%	15,89%	13,87%
Madrid	23,85%	26,54%	25,78%	16,37%	19,35%	21,58%	12,21%	12,11%
Bilbao	23,58%	23,81%	25,03%	26,34%	24,93%	16,71%	10,97%	8,95%
Las Palmas	21,63%	20,48%	21,07%	14,07%	16,50%	20,81%	18,77%	13,40%
Lanzarote	20,61%	20,13%	27,82%	17,27%	17,22%	21,09%	18,99%	13,57%
Tenerife Norte	14,63%	16,87%	14,76%	10,78%	14,04%	11,56%	11,07%	7,11%

Anexo 9. Gráfico de porcentaje de vuelos retrasados en España



Anexo 10. Tabla comparativa de las demoras 2018 vs 2019

Aeropuerto	Agosto 2018	Agosto 2019	% Inc 2019 /s 2018
Mallorca	42,29%	35,62%	-15,77%
Barcelona	42,66%	35,54%	-16,69%
Ibiza	35,89%	34,62%	-3,54%
Málaga	28,34%	34,27%	20,92%
Valencia	28,79%	33,56%	16,57%
Tenerife Sur	25,88%	33,17%	28,17%
Alicante	28,41%	32,63%	14,85%
Sevilla	24,65%	24,71%	0,24%
Madrid	20,26%	23,85%	17,72%
Bilbao	23,54%	23,58%	0,17%
Las Palmas	15,24%	21,63%	41,93%
Lanzarote	18,09%	20,61%	13,93%
Tenerife Norte	14,29%	14,63%	2,38%

Anexo 11. Gráfico comparativo de las demoras 2018 vs 2019



Anexo 12. Tabla de Pasajeros en 2018 y capacidad máxima en España

Aeropuertos	PASAJEROS 2018		
	Total	Capacidad máxima	% para alcanzar máximo
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	57.891.340	70.000.000	17,29808571
BARCELONA-EL PRAT	50.172.457	55.000.000	8,777350909
PALMA DE MALLORCA	29.081.787	34.000.000	14,46533235
MALAGA-COSTA DEL SOL	19.021.704	27.000.000	29,54924444
ALICANTE-ELCHE	13.981.320	19.000.000	26,41410526
GRAN CANARIA	13.573.242	20.000.000	32,13379
TENERIFE-SUR	11.042.481	12.000.000	7,979325
IBIZA	8.104.316	9.000.000	9,952044444
VALENCIA	7.769.867	10.500.000	26,00126667
LANZAROTE	7.327.019	8.800.000	16,73842045
SEVILLA	6.380.465	6.500.000	1,839
FUERTEVENTURA	6.118.893	8.200.000	25,37935366
TENERIFE-NORTE	5.493.994	6.500.000	15,47701538
BILBAO	5.469.453	5.600.000	2,331196429
MENORCA	3.442.752	4.000.000	13,9312
SANTIAGO	2.724.750	4.500.000	39,45
GIRONA	2.019.876	7.200.000	71,94616667
LA PALMA	1.420.277	2.500.000	43,18892
ASTURIAS	1.400.481	2.000.000	29,97595
MURCIA-SAN JAVIER	1.273.424	1.500.000	15,10506667
A CORUÑA	1.225.763	1.300.000	5,710538462
JEREZ DE LA FRONTERA	1.133.621	2.700.000	58,01403704
VIGO	1.129.689	2.000.000	43,51555
FGL GRANADA-JAEN	1.126.389	2.200.000	48,8005
SEVE BALLESTEROS-SANTANDER	1.103.353	1.500.000	26,44313333
REUS	1.037.576	1.600.000	35,1515
ALMERIA	992.043	1.600.000	37,9973125
ZARAGOZA	489.064	2.000.000	75,5468
MELILLA	348.121	500.000	30,3758
SAN SEBASTIAN	289.444	700.000	58,65085714
VALLADOLID	253.271	500.000	49,3458
EL HIERRO	247.203	350.000	29,37057143
PAMPLONA	205.503	850.000	75,82317647
VITORIA	140.945	700.000	79,865
LA GOMERA	61.944	300.000	79,352
LEON	55.946	600.000	90,67566667
CEUTA-HELIPUERTO	52.180	150.000	65,21333333
BADAJOS	52.071	300.000	82,643
ALGECIRAS-HELIPUERTO	31.129	100.000	68,871

LOGROÑO	21.381	300.000	92,873
SALAMANCA	14.649	300.000	95,117
BURGOS	10.341	300.000	96,553
CORDOBA	8.255	-	-
SABADELL	4.540	-	-
MADRID-CUATRO VIENTOS	3.347	-	-
SON BONET	2.972	-	-
HUESCA-PIRINEOS	1.473	300.000	99,509
ALBACETE	1.295	300.000	99,56833333
TOTAL	263.753.406	335.250.000	21,32635168

Anexo 13. Tabla con los 15 candidatos

AEROPUERTO	LOCALIZACIÓN	OACI	IATA	PISTAS
Málaga-Costa del Sol (Pablo Picasso)	Málaga	LEMG	AGP	2
Ibiza (Es Codolar)	San José (Balears)	LEIB	IBZ	1
Palma (Son Sant Joan)	Palma de Mallorca (Balears)	LEPA	PMI	2
Alicante-Elche (El Altet)	Elche (Alicante)	LEAL	ALC	1
San Sebastián (Hondarribia)	Fuenterrabía (Guipúzcoa)	LESO	EAS	1
Almería (El Alquíán)	Almería	LEAM	LEI	1
Seve Ballesteros-Santander (Parayas)	Camargo (Cantabria)	LEXJ	SDR	1
Asturias (Rañón/Santiago del Monte)	Castrillón (Asturias)	LEAS	OVD	1
El Hierro (Los Cangrejos)	Valverde (Santa Cruz de Tenerife)	GCHI	VDE	1
Fuerteventura (Puerto del Rosario/El Matorral)	Puerto del Rosario (Las Palmas)	GCFV	FUE	1
Gran Canaria (Gando)	Telde e Ingenio (Las Palmas)	GCLP	LPA	2
La Gomera (La Gomera)	Alajeró (Santa Cruz de Tenerife)	GCGM	GMZ	1
La Palma (Mazo)	Villa de Mazo, Breña Baja (Santa Cruz de Tenerife)	GCLA	SPC	1
César Manrique Lanzarote (Guasimeta/San Bartolomé)	San Bartolomé (Las Palmas)	GCRR	ACE	1
Tenerife Sur (Reina Sofía)	Granadilla de Abona y San Miguel de Abona (Santa Cruz de Tenerife)	GCTS	TFS	1

Anexo 14. Tabla descarte de candidatos por demanda

Aeropuertos	PASAJEROS	
	Total	% Inc 2018 vs 2017
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	57.891.340	8,4%
BARCELONA-EL PRAT	50.172.457	6,1%
PALMA DE MALLORCA		
MÁLAGA-COSTA DEL SOL	GIRONA	2.019.876 3,8%
ALICANTE-ELCHE	LA PALMA	1.420.277 9,0%
GRAN CANARIA	ASTURIAS	1.400.481 -0,5%
TENERIFE-SUR	MURCIA-SAN JAVIER	1.273.424 6,4%
IBIZA	A CORUÑA	1.225.763 7,4%
VALENCIA	JEREZ DE LA FRONTERA	1.133.621 8,3%
LANZAROTE	VIGO	1.129.689 6,0%
SEVILLA	FGL GRANADA-JAEN	1.126.389 24,9%
FUERTEVENTURA	SEVE BALLESTEROS-SANTANDER	1.103.353 17,7%
TENERIFE-NORTE	REUS	1.037.576 1,8%
BILBAO	ALMERIA	992.043 -1,5%
MENORCA	ZARAGOZA	489.064 11,6%
SANTIAGO	MELILLA	348.121 7,3%
GIRONA	SAN SEBASTIAN	289.444 2,7%
LA PALMA	VALLADOLID	253.271 11,4%
ASTURIAS	EL HIERRO	247.203 24,0%
MURCIA-SAN JAVIER	PAMPLONA	205.503 24,1%
A CORUÑA	VITORIA	140.945 67,3%
JEREZ DE LA FRONTERA	LA GOMERA	61.944 27,2%
VIGO	LEON	55.946 26,4%
FGL GRANADA-JAEN	CEUTA-HELIPUERTO	55.189 100,0%
SEVE BALLESTEROS-SANTANDER		
REUS		
ALMERIA		
ZARAGOZA		
MELILLA		
SAN SEBASTIAN		
VALLADOLID		
EL HIERRO		
PAMPLONA		
VITORIA		
LA GOMERA		
LEON		
CEUTA-HELIPUERTO		
BADAJOS		
ALGECIRAS-HELIPUERTO	31.129 194,0%	
LOGROÑO	21.381 6,0%	
SALAMANCA	14.649 -2,0%	
BURGOS	10.341 73,7%	
CORDOBA	8.255 2,4%	
SABADELL	4.540 1,4%	
MADRID-CUATRO VIENTOS	3.347 0,0%	
SON BONET	2.972 0,7%	
HUESCA-PIRINEOS	1.473 0,7%	
ALBACETE	1.295 -6,2%	
TOTAL	263.753.406	5,8%

Anexo 15. Número de pasajeros en el aeropuerto de Lanzarote

Mes	2019	2018	2017	2016	2015	2014
Agosto	686.632	685.221	721.233	642.514	619.387	603.552
Julio	649.112	665.312	691.537	630.303	563.543	556.053
Junio	604.163	596.788	601.619	537.361	499.618	477.225
Mayo	567.687	570.149	558.014	524.184	489.252	440.584
Abril	629.145	600.312	652.365	527.642	504.461	505.547
Marzo	669.053	652.180	602.411	563.579	516.020	506.721
Febrero	552.120	547.211	532.968	489.353	442.072	425.373
Enero	569.287	558.771	536.085	494.164	451.791	439.378

Anexo 16. Explicación del P.E.S.T.E.L.

- **POLÍTICO:** En este aspecto del análisis, se estudian los factores políticos que incluyen áreas como leyes laborales, leyes ambientales, partido político actual de la zona, elecciones cercanas, estabilidad política, etc. Además, se pueden incluir políticas de impuestos, restricciones comerciales y tarifas.

El la decisión para el mejor candidato en el proyecto, las leyes ambientales y la ley del turismo, son los puntos que afectarán más a la hora de construir una nueva pista sobre el mar.

- **ECONÓMICO:** Los factores económicos incluyen impuestos, el índice de paro de la población, ordenanzas, el crecimiento económico de la zona, tasas de interés, tipos de cambio y tasas de inflación.

El factor del paro puede influir en el proyecto, ya que la construcción de una nueva pista en el aeropuerto, causaría una necesidad de trabajadores, por lo que la tasa de paro se vería reducida. Por otro lado, los tipos de cambio, impuestos y tasas afectan al costo de exportación de bienes y el precio de las mercancías necesarias en la construcción de la pista.

- **SOCIAL:** Los temas a tratar en este ámbito incluyen aspectos culturales, la tasa de crecimiento de la población, distribución de edades, la esperanza de vida de la población, el turismo y la inmigración.

Este sector es uno de los más influyentes a la hora de tomar la decisión del mejor candidato. Las tendencias en los factores sociales afectan la demanda de vuelos. Por ejemplo, el envejecimiento de la población puede suponer la decaída en número de vuelos. También podría influir en el aumento de coste en la mano de obra a la hora de construir la pista. La inmigración también juega un papel importante, ya que una tasa alta, puede verse reflejado en movimientos constantes en el aeropuerto.

El turismo en la población es un punto elemental a la hora de juzgar los candidatos, ya que una localización atractiva turísticamente, implica una constancia de pasajeros.

- **TECNOLÓGICO:** Dentro de este ámbito se abarcan temas de implantación de nuevas e innovadoras tecnologías, automatización, incentivos tecnológicos, y actividades de investigación y desarrollo.

Para tomar la decisión y elegir el mejor candidato, en esta parte del análisis se tendrán en cuenta los tipos de aeronaves que operan en el aeropuerto y la actualización de las instalaciones del aeropuerto. Conocer si un aeropuerto permite el acceso a nuevas aeronaves y si sus instalaciones han estado recientemente renovadas, es clave con tal de saber si está bien acondicionado en la actualidad. Otro punto a tener en cuenta a la hora de decidir el mejor candidato, es conocer los nuevos medios de transporte para conectar al aeropuerto (si existen) y la implantación de nuevas tecnologías en él.

- **AMBIENTAL:** Los factores ambientales incluyen los elementos que guardan relación directa o indirecta con la preservación de los entornos y el medioambiente. Este sector, es junto al social, el más determinante a la hora de tomar la decisión ya que los puntos a tratar pueden afectar mucho al aeropuerto. Los cambios que afectan el clima es un aspecto que se tiene en cuenta, además de la probabilidad de sufrir desastres naturales, incendios, terremotos, etc.

Dentro del ámbito aeroportuario, los puntos interesantes a tratar son la contaminación aérea y terrestre, el impacto medioambiental en el entorno del aeropuerto y las emisiones a causa del incremento de los transportes. La contaminación acústica ha sido un elemento con gran importancia, ya que se ha realizado un análisis riguroso de las posibles afectaciones del ruido causado por la construcción de la nueva pista. Por último, saber si el aeropuerto es un foco de aviación ejecutiva (pocos pasajeros y mucha contaminación) influye mucho, ya que no sería un buen candidato por todas las consecuencias que una nueva pista tendría.

- **LEGAL:** El sector dentro del análisis PESTEL que se focaliza en los aspectos legales incluyen, como su propio nombre indica, diversas leyes. Leyes como la de la discriminación, leyes del transporte, de la salud y protección don algunos ejemplos.

Aplicado al proyecto, la compatibilidad de leyes entre zonas, las normativas especiales por la construcción de una nueva pista y planes directores son algunos de los factores que afectan a la parte legal del análisis PESTEL. Además de los mencionados recientemente, los acuerdos y normativas nacionales e internacionales, la geopolítica y los cambios en la legislación son también importantes dentro de este sector.

Anexo 17. Análisis P.E.S.T.E.L. detallado

Este anexo complementa el apartado 1.2. del proyecto, en concreto, el subapartado 1.2.2. donde se presenta la tabla comparativa resultante del análisis P.E.S.T.E.L. realizado para los 4 mejores candidatos donde construir la pista sobre el mar. En el cuerpo del trabajo, se acompañó la tabla resultante con una justificación de cada una de las preguntas realizadas. El objetivo de este anexo es profundizar en cada uno de los aspectos del P.E.S.T.E.L. para cada aeropuerto y adjuntar el enlace web de dónde proviene la información.

Palma de Mallorca:

POLÍTICA:

- El nuevo Plan Territorial de Mallorca restringirá la construcción en suelo rústico → <https://www.elmundo.es/baleares/2017/11/02/59fb230de2704eae528b4618.html>
- Palma será la primera ciudad en prohibir todas las viviendas turísticas en

pisos →

https://elpais.com/economia/2018/04/23/actualidad/1524493873_547313.html

ECONOMÍA:

- Entra en vigor el aumento del impuesto turístico entre el malestar del sector hotelero → <https://www.diariodemallorca.es/mallorca/2018/01/03/entra-vigor-aumento-impuesto-turistico/1276271.html>
- Baleares ocupa el séptimo puesto en PIB per cápita en España → <https://ultimahora.es/especial/anuario-economico-2017-illes-balears/2018/07/23/2275/baleares-ocupa-septimo-puesto-pib-per-capita-espana.html>

SOCIAL:

- La población balear aumenta hasta los 1,16 millones de habitantes → <https://www.diariodemallorca.es/mallorca/2018/06/26/poblacion-balear-aumenta-1-millones/1325728.html>
- Por qué hacer turismo en Mallorca → <http://www.visitpalma.cat/es/por-que-visitar-palma/>
- Palma apuesta por nuevas rutas entre Palma y China, EEUU, Canadá y Argentina → <http://www.europapress.es/turismo/destino-espana/baleares/noticia-palma-apuesta-nuevas-rutas-palma-china-eeuu-canada-argentina-20180905105516.html>

TECNOLOGÍA:

- El Govern proyecta un tranvía de Palma al aeropuerto y un tren a Lluçmajor → <http://www.elmundo.es/baleares/2018/06/20/5b2a5bf222601da76e8b466c.html>
- Son Sant Joan ampliará pistas y terminales para aumentar vuelos → <https://www.diariodemallorca.es/mallorca/2017/02/21/aeropuerto-ampliara-pistas-terminales-atender/1191494.html>

MEDIO AMBIENTE:

- Playa es carnatge → https://www.palma.cat/portal/PALMA/contenedor1.jsp?seccion=s_fdes_d4_v1.jsp&codbusqueda=2661&codResi=1&codMenuPN=1812&codMenuSN=1577&codMenu=2495&language=es
- Gestión medioambiental → <http://www.aena.es/es/aeropuerto-palma-mallorca/gestion-medioambiental.html>

LEGAL:

- Base Aérea de Son San Juan → <http://www.ejercitodelaire.mde.es/EA/ejercitodelaire/es/organizacion/unidades/unidad/Ala-49---RCC-Palma/>
- Plan Director Aeropuerto de Palma → <https://www.fomento.gob.es/areas-de-actividad/aviacion-civil/politicas->

[aeroportuarias/integracion-territorial-aeroportuaria/planes-directores/plan-director-del-aeropuerto-de-palma-de-mallorca](#)

Ibiza:

POLÍTICA:

- Los propietarios de fincas rústicas de Ibiza rechazan la nueva Ley Agraria → <http://www.elmundo.es/baleares/2018/09/17/5b9f4b36e2704eb18b8b4615.html>
- Ley del turismo → <https://www.diariodeibiza.es/tags/ley-de-turismo.html>

ECONOMÍA:

- Ordenanzas, impuestos y tasas → <https://www.eivissa.es/portal/index.php/es/ayuntamiento/ordenances>
- Ibiza acabó el mes de junio con un total de 3.349 personas sin empleo, un 5,7% menos que el año anterior → <https://www.diariodeibiza.es/pitiuses-balears/2018/07/03/paro-cae-5-ibiza-15/999299.html>

SOCIAL:

- La llegada de 'jets' privados al aeropuerto se disparan un 20% en sólo 2 años → <https://www.diariodeibiza.es/pitiuses-balears/2018/09/03/llegada-pasajeros-jets-privados-dispara/1011826.html>
- El 23,5% de los residentes en Ibiza y el 31,2% de los de Formentera son originarios de otros países. El 12% de los ibicencos tienen más de 65 años. → <https://www.diariodeibiza.es/pitiuses-balears/2018/01/28/porcentaje-extranjeros-viven-pitiuses-cae/966246.html>
- Atractivo turístico → <http://www.aena.es/es/aeropuerto-ibiza/turismo.html>

TECNOLOGÍA:

- Ya están operativos los arcos de seguridad del Aeropuerto de Ibiza → http://cadenaser.com/emisora/2018/06/26/radio_ibiza/1530017485_009955.html
- AENA construirá un nuevo edificio para aparcamientos en el aeropuerto de Ibiza → <https://www.diariodeibiza.es/pitiuses-balears/2018/05/28/aena-construira-nuevo-edificio-aparcamientos/991643.html>
- Ciudadanos propone que un bus lanzadera conecte el Aeropuerto con los municipios → <https://www.diariodeibiza.es/pitiuses-balears/2018/09/18/ciudadanos-propone-bus-lanzadera-conecte/1015344.html>
- Un plan estratégico diseñará la apertura de las nuevas rutas aéreas para Ibiza → <https://www.diariodeibiza.es/pitiuses-balears/2018/09/05/govern-creara-plan-estrategico-abrir/1012487.html>
- Aena invertirá 25 millones en mejorar el aeropuerto de Ibiza → <https://www.periodicodeibiza.es/pitiusas/local/2019/02/13/1057991/aena-invertira-millones-mejorar-aeropuerto-ibiza.html>

MEDIO AMBIENTE:

- El aeropuerto de Ibiza se encuentra en el parque natural de Ses Salines de Ibiza y Formentera → <http://www.aena.es/es/aeropuerto-ibiza/medio-ambiente.html>
- El BOE publica la servidumbre acústica del aeropuerto de Ibiza → <https://www.diariodeibiza.es/pitiuses-balears/2018/02/16/boe-publica-servidumbre-acustica-aeropuerto/970402.html>

LEGAL:

- El DORA explica las variables que se han utilizado para obtener la previsión de crecimiento del 4,6% hasta 2021 → <https://www.diariodeibiza.es/pitiuses-balears/2017/03/19/aena-preve-aeropuerto-crecimiento-4/903519.html>
- A diferencia de los últimos cinco años, en los que los principales países competidores de Balears se han visto envueltos en problemas geopolíticos, caso de Turquía, Egipto y Túnez, este año todo ha dado un vuelco al haberse normalizado la situación, de ahí que los aeropuertos de estos países vayan a registrar movimientos de pasajeros cercanos a los años previos de la crisis geopolítica → <https://ultimahora.es/noticias/local/2018/04/01/990395/mallorca-destino-mediterraneo-mas-conectividad-aerea.html>
- El tráfico de pasajeros en el aeropuerto de Ibiza ha crecido un 17% en la primera mitad de 2016 debido a la caída de la demanda en Turquía y norte de África, por conflictos como el terrorismo y la inestabilidad geopolítica → <https://www.noudiari.es/2016/08/el-trafico-en-el-aeropuerto-de-ibiza-crece-un-17-por-los-conflictos-en-turquia-y-norte-de-africa/>
- El instrumento general de ordenación del territorio en la isla de Ibiza, de acuerdo a lo establecido en la Ley 4/2000, de 21 de diciembre, de Ordenación Territorial de las Illes Balears, es el Plan Territorial Insular (PTI) → http://www.aena.es/csee/ccurl/19/696/DA_Ibiza_compressed.pdf
- Ordenanza fiscal del impuesto sobre construcciones, instalaciones y obras → <http://www.eivissa.es/portal/images/stories/ordenanzas/IMPUESTOORBRAS.pdf>
- Plan director de Ibiza → <https://www.fomento.gob.es/areas-de-actividad/aviacion-civil/politicas-aeroportuarias/integracion-territorial-aeroportuaria/planes-directores/plan-director-del-aeropuerto-de-ibiza>

Gran Canaria:

POLÍTICA:

- La Ley de Suelo prohíbe el uso residencial en parcelas turísticas a partir del 01/01/2017 → <https://www.laprovincia.es/canarias/2017/05/18/ley-suelo-prohíbe-residencial-parcelas/940217.html>
- Podemos presenta una enmienda a la totalidad de la ley turística → <https://www.laprovincia.es/economia/2017/02/20/presenta-enmienda-totalidad-ley-turistica/910860.html>

- Nueva Canarias exige al Gobierno canario que regule por ley el alquiler vacacional → <https://www.laprovincia.es/las-palmas/2017/08/09/nueva-canarias-exige-gobierno-canario/967371.html>

ECONOMÍA:

- El Gobierno elimina un impuesto para bajar entre un 2,5 y un 4% el precio de la luz → <https://www.laprovincia.es/economia/2018/09/19/gobierno-suspendera-impuesto-7-generacion/1099026.html>
- El paro desciende en Canarias en 1.587 personas en septiembre → <https://www.laprovincia.es/economia/2018/10/02/paro-desciende-canarias-1587-personas/1103079.html>
- El Banco de España rebaja al 2,6% su previsión de crecimiento para este año → <https://www.laprovincia.es/economia/2018/09/25/banco-espana-rebaja-2-prevision/1100864.html>

SOCIAL:

- Turismo calcula un aumento de 711.000 plazas aéreas para las Islas en invierno → <https://www.laprovincia.es/economia/2018/08/22/turismo-calcula-aumento-711000-plazas/1090250.html>
- El turismo peninsular incrementa en julio su apuesta por Gran Canaria → <https://www.laprovincia.es/economia/2018/09/08/turismo-peninsular-incrementa-julio-apuesta/1095497.html>

TECNOLOGÍA:

- Cuatro nuevos restaurantes en el aeropuerto de Gran Canaria → <https://www.laprovincia.es/economia/2018/08/07/cuatro-nuevos-restaurantes-aeropuerto-gran/1086035.html>
- En el año 2014 se estrenó la nueva ampliación del Aeropuerto de Gran Canaria → https://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto_de_Gran_Canaria
- Vueling conecta Gran Canaria con Granada, dos veces por semana → <https://www.laprovincia.es/turismo/2017/12/04/vueling-conecta-gran-canaria-granada/1004883.html>
- El Aeropuerto de Gran Canaria incorpora tres nuevos aparcamientos → <https://www.laprovincia.es/gran-canaria/2017/04/20/aeropuerto-gran-canaria-incorpora-tres/930442.html>

MEDIO AMBIENTE:

- El Ayuntamiento bonifica el 75% del impuesto de los coches eléctricos y 50% de los híbridos → <https://www.laprovincia.es/gran-canaria/2018/10/12/ayuntamiento-bonifica-75-impuesto-coches/1106491.html>
- El Cabildo financiará hasta la mitad del coste de las placas fotovoltaicas en viviendas → <https://www.laprovincia.es/gran-canaria/2018/06/15/cabildo-financiara-mitad-coste-placas/1068934.html>
- Barreto neutraliza un proyecto eólico que defendía Ortega cerca del aeropuerto del Gran Canaria → https://www.abc.es/espana/canarias/abci-barreto-neutraliza-proyecto-eolico-defendia-ortega-cerca-aeropuerto-gran-canaria-201810011022_noticia.html

LEGAL:

- Plan director → <https://www.boe.es/boe/dias/2001/09/29/pdfs/A36359-36362.pdf>

Lanzarote:

POLÍTICA:

- Las patronales hoteleras de Lanzarote y Fuerteventura proponen cambiar la ley para regularizar el 80% de las villas turísticas → <https://www.diariodefuerteventura.com/noticia/las-patronales-hoteleras-de-lanzarote-y-fuerteventura-proponen-cambiar-la-ley-para>
- Lanzarote supera las 6.000 viviendas vacacionales y Turismo anuncia límites → <https://www.diariodelanzarote.com/noticia/lanzarote-supera-las-6000-viviendas-vacacionales-y-turismo-anuncia-l%C3%ADmites>
- El PSOE rechaza el proyecto de nuevo aeropuerto para Lanzarote propuesto por Pedro San Ginés → <https://www.lancelotdigital.com/lanzarote/un-nuevo-aeropuerto-en-lanzarote>
<https://www.lavozdelanzarote.com/articulo/politica/psoe-rechaza-proyecto-nuevo-aeropuerto-lanzarote-propuesto-pedro-san-gines/20180624192438128723.html>

ECONOMÍA:

- El turismo pasa del 25% al 34% de la economía canaria en siete años → https://www.eldiario.es/canariasahora/economia/turismo-pasa-economia-canaria-anos_0_689081983.html
- Lanzarote en cifras → http://www.datosdelanzarote.com/Uploads/doc/Lanzarote-en-cifras-2017-2018042008560143019_Marzo_LanzaroteEnCifras2017-LanzaroteInFigures2017-DIGITAL.pdf

SOCIAL:

- Pateras en Lanzarote → <https://www.lancelotdigital.com/opinion/pateras-en-lanzarote>
- Lanzarote, con más gente que nunca → <http://www.lancelotdigital.com/lanzarote/lanzarote-con-mas-gente-que-nunca>
<http://www.lancelotdigital.com/lanzarote/lanzarote-la-isla-canaria-que-mas-crece-porcentualmente-en-poblacion>
- Turismo → <https://turismolanzarote.com/descubre-lanzarote/>
- Aena elabora un plan contra el ruido del aeropuerto que afecta a unos 8.500 vecinos → <https://www.diariodelanzarote.com/noticia/aena-elabora-un-plan-contra-el-ruido-del-aeropuerto-que-afecta-unos-8500-vecinos>

TECNOLOGÍA:

- EasyJet anuncia nuevas rutas desde tres destinos europeos a Lanzarote → https://www.tourinews.es/espana/easyjet-anuncia-nuevas-rutas-desde-tres-destinos-europeos-a-lanzarote_4450143_102.html
- "El desarrollo tecnológico canario es una oportunidad para España" → <http://eldia.es/canarias/2018-06-14/11-desarrollo-tecnologico-canario-es-oportunidad-Espana.htm>

MEDIO AMBIENTE:

- Aeropuerto verde → <http://www.aena.es/es/aeropuerto-lanzarote/aeropuerto-verde.html>
- "Lanzarote, una isla para sentir", campaña de concienciación de la Reserva de la Biosfera → <https://www.diariodelanzarote.com/noticia/lanzarote-una-isla-para-sentir-campa%C3%B1a-de-concienciaci%C3%B3n-de-la-reserva-de-la-biosfera>
- Biosfera → <http://www.aena.es/es/pasajeros/reservas-biosfera.html>

LEGAL:

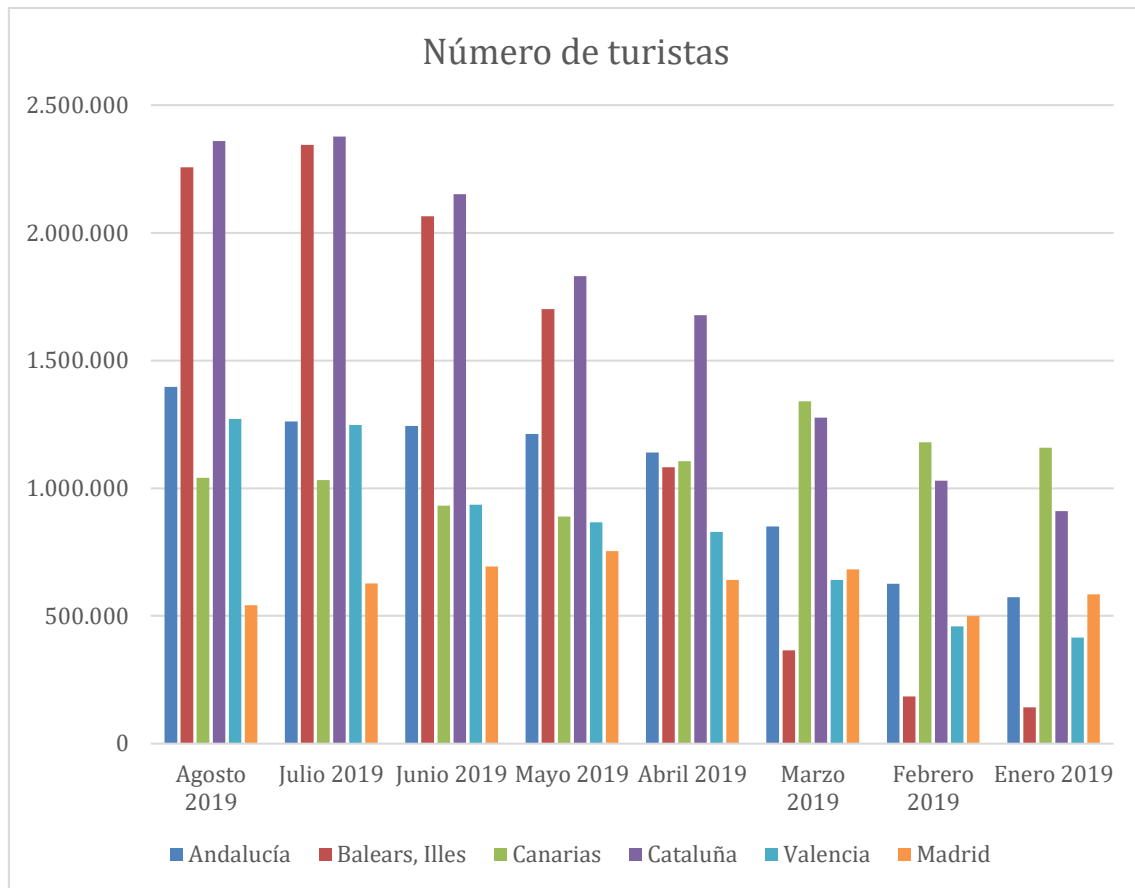
- Plan Director Aeropuerto de Lanzarote → <https://www.fomento.gob.es/areas-de-actividad/aviacion-civil/politicas-aeroportuarias/integracion-territorial-aeroportuaria/planes-directores/plan-director-del-aeropuerto-de-lanzarote>

Ya está en vigor la Ley del Suelo ¿Y ahora qué? En Lanzarote podría afectar al PGO de Arrecife → <https://www.diariodelanzarote.com/noticia/ya-est%C3%A1-en-vigor-la-ley-del-suelo-%C2%BFy-ahora-qu%C3%A9-en-lanzarote-podr%C3%ADa-afectar-al-pgo-de>

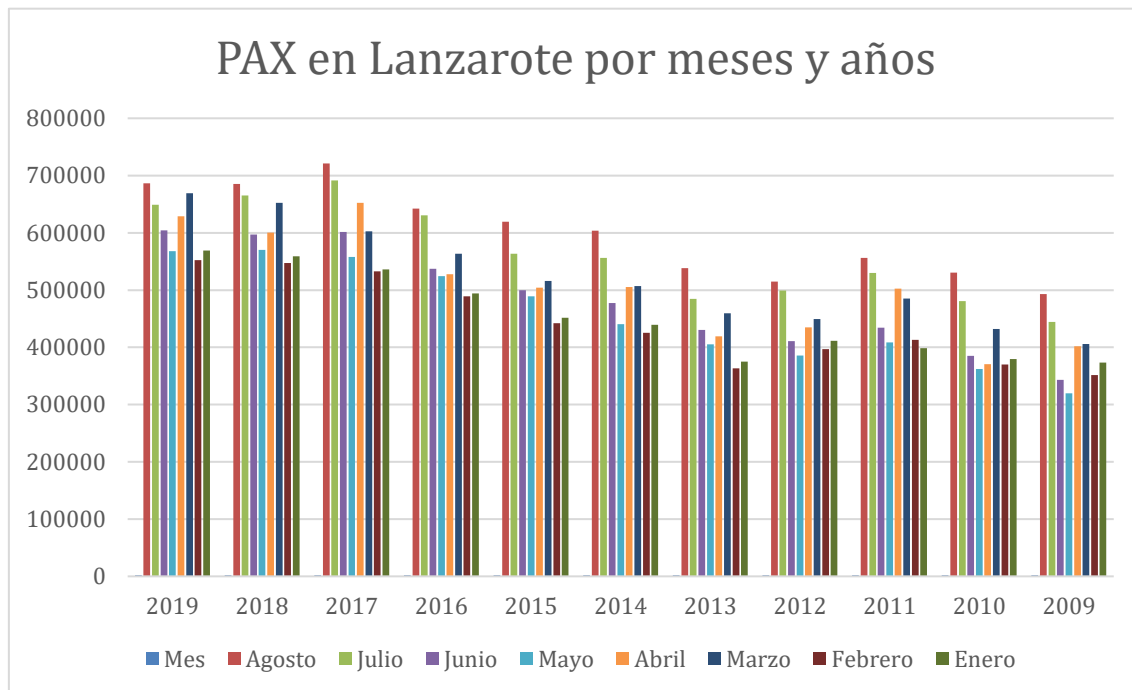
Anexo 18. Tabla número de tristas en comunidades españolas

	Agosto 2019	Julio 2019	Junio 2019	Mayo 2019	Abril 2019	Marzo 2019	Febrero 2019	Enero 2019
Andalucía	1.396.903	1.261.605	1.243.679	1.212.454	1.139.274	850.475	626.424	573.496
Balears, Illes	2.257.057	2.344.104	2.065.329	1.701.173	1.081.589	365.838	184.355	141.922
Canarias	1.040.241	1.031.662	931.810	888.777	1.105.596	1.340.619	1.179.660	1.158.776
Cataluña	2.358.838	2.376.608	2.151.525	1.830.968	1.677.105	1.276.644	1.029.808	910.779
Valencia	1.271.169	1.247.582	935.806	866.907	829.363	640.678	459.456	414.777
Madrid	541.890	626.996	693.021	753.952	641.086	682.976	499.175	584.387

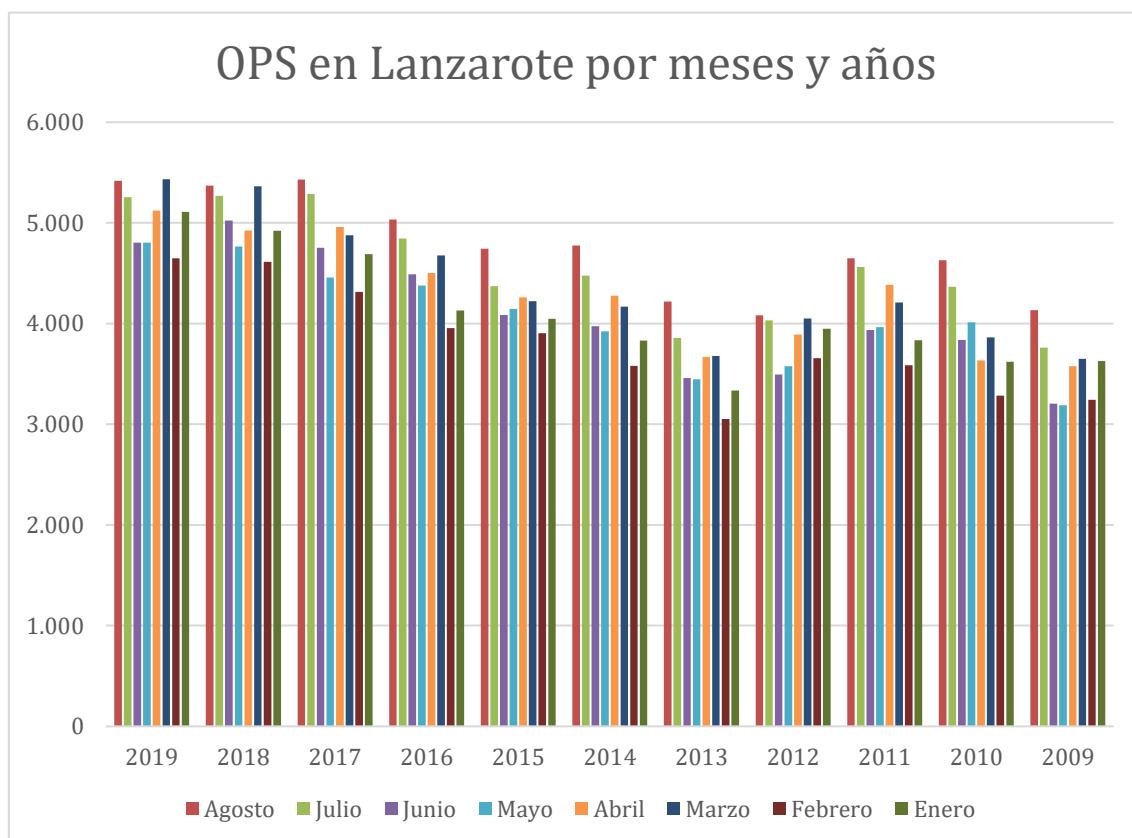
Anexo 19. Gráfico de número de turistas por comunidades autónomas



Anexo 20. Pasajeros en el aeropuerto de Lanzarote



Anexo 21. Operaciones en el aeropuerto de Lanzarote



Anexo 22. Demanda de Pasajeros y Operaciones en el Aeropuerto de Lanzarote (1990-2018)

PERIODO	AERONAVES			PASAJEROS		
	TOTAL	NACIONAL	INTERNACIONAL	TOTAL	NACIONAL	INTERNACIONAL
2018	58,209	28,216	29,993	7,323,787	2,166,839	5,156,948
2017	57,024	25,130	31,894	7,384,433	1,989,189	5,395,244
2016	52,520	22,800	29,720	6,682,286	1,764,621	4,917,665
2015	48,182	21,680	26,502	6,127,006	1,671,588	4,455,418
2014	47,445	21,417	26,028	5,879,487	1,611,786	4,267,701
2013	42,114	19,740	22,374	5,332,247	1,540,077	3,792,170
2012	42,885	22,428	20,457	5,166,572	1,688,106	3,478,466
2011	47,785	26,532	21,253	5,540,912	2,015,558	3,525,354
2010	44,512	26,031	18,481	4,935,866	1,906,152	3,029,714
2009	40,308	23,305	17,003	4,568,417	1,832,266	2,736,151
2008	49,318	30,195	19,123	5,304,094	2,120,619	3,183,475
2007	48,913	29,057	19,856	5,471,758	2,237,966	3,233,792
2006	46,391	26,126	20,265	5,461,553	2,088,184	3,373,369
2005	43,503	23,335	20,168	5,309,005	1,910,973	3,398,032
2004	43,802	22,395	21,407	5,318,750	1,722,114	3,596,636
2003	42,445	20,565	21,880	5,203,813	1,459,569	3,744,244
2002	40,138	19,266	20,872	4,946,774	1,336,725	3,610,049
2001	39,894	19,343	20,551	4,921,786	1,314,554	3,607,232
2000	41,012	19,992	21,020	4,773,464	1,278,189	3,495,275
1999	43,728	22,182	21,546	4,535,383	1,192,361	3,343,022
1998	39,709	19,667	20,042	4,403,787	1,064,059	3,339,728
1997	37,374	19,318	18,056	3,985,506	1,060,154	2,925,352
1996	32,331	15,033	17,298	3,777,450	1,010,419	2,767,031
1995	32,310	14,741	17,569	3,705,094	1,002,343	2,702,751
1994	31,411	15,335	16,076	3,527,472	982,660	2,544,812
1993	29,118	15,070	14,048	3,000,392	984,231	2,016,161
1992	28,602	17,269	11,333	2,784,095	1,012,775	1,771,320
1991	24,160	13,530	10,630	2,736,166	1,062,969	1,673,197
1990	19,939	11,207	8,732	2,371,232	972,528	1,398,704

Anexo 23. Cálculos de regresión lineal, parabólica y exponencial

Regresión lineal

Modelizando la serie histórica por la recta $y=m \cdot x+b$ y por el método de mínimos cuadrados:

$$m = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad (1.1)$$

$$b = \bar{y} - m\bar{x} \quad (1.2)$$

Donde m es la pendiente de la recta y b el valor de la ordenada en el origen.

y : Valores representativos por cada segmento (Número de operaciones o de pasajeros).

x : Toma valores de 1 a n muestras.

n : es el número de muestras, en nuestro caso son 7.

y : media de los valores de y en las 7 muestras.

x : media de los valores x en las 7 muestras.

Se obtienen las siguientes fórmulas lineales para cada segmento:

Ecuaciones de Regresión Lineal por segmentos:

Operaciones Totales $y=m \cdot x+b$	$y=2888,10 \cdot x + 38216$
Operaciones Nacionales $y=m \cdot x+b$	$y=1054,54 \cdot x + 18840,57$
Operaciones Internacionales $y=m \cdot x+b$	$y=1833,57 \cdot x + 19375,43$
Pasajeros Totales $y=m \cdot x+b$	$y=406386,29 \cdot x + 4645286$
Pasajeros Nacionales $y=m \cdot x+b$	$y=88830,64 \cdot x + 1420706,86$
Pasajeros Internacionales $y=m \cdot x+b$	$y=317555,64 \cdot x + 3224579,14$

Con un coeficiente de determinación para cada segmento:

R^2 para Operaciones totales	0,952
R^2 para Operaciones nacionales	0,663
R^2 para Operaciones internacionales	0,895
R^2 para Pasajeros totales	0,965
R^2 para Pasajeros nacionales	0,737
R^2 para Pasajeros internacionales	0,939

Regresión Parabólica

Modelizando la serie histórica por la expresión parabólica y por el método de mínimos cuadrados:

$$y=a \cdot x^2+b \cdot x+c \quad (1.3)$$

$$\begin{bmatrix} \sum X_i^4 & \sum X_i^3 & \sum X_i^2 \\ \sum X_i^3 & \sum X_i^2 & \sum X_i \\ \sum X_i^2 & \sum X_i & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum (Y_i X_i^2) \\ \sum (Y_i X_i) \\ \sum (Y_i) \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

El resultado de la sistema de ecuaciones (1.6) nos proporciona los coeficientes a , b y c que son necesarios para la representación de la parábola. Donde:

y : Valores representativos por cada segmento (Número de operaciones o de pasajeros).

x : Toma valores de 1 a n muestras.

Se obtiene las siguientes fórmulas parabólicas para cada segmento:

Operaciones Totales $y=a \cdot x^2+b \cdot x+c$	$y=152,94 \cdot x^2+1664,58 \cdot x +40051,29$
Operaciones Nacionales $y=a \cdot x^2+b \cdot x+c$	$y=402,96 \cdot x^2+2169,18 \cdot x +23676,14$
Operaciones Internacionales $y=a \cdot x^2+b \cdot x+c$	$y=-250,02 \cdot x^2+3833,76 \cdot x +16375,14$
Pasajeros Totales $y=a \cdot x^2+b \cdot x+c$	$y=3076,81 \cdot x^2+381771,81 \cdot x +4682207,71$
Pasajeros Nacionales $y=a \cdot x^2+b \cdot x+c$	$y=29275,62 \cdot x^2-145374,31 \cdot x +1772014,29$
Pasajeros Internacionales $y=a \cdot x^2+b \cdot x+c$	$y=-26198,81 \cdot x^2+527146,12 \cdot x +2910193,43$

Con un coeficiente de determinación para cada segmento:

R^2 (Operaciones totales)	0,959
-----------------------------	-------

R ² (Operaciones nacionales)	0,953
R ² (Operaciones internacionales)	0,945
R ² (Pasajeros totales)	0,965
R ² (Pasajeros nacionales)	0,978
R ² (Pasajeros internacionales)	0,958

Regresión Exponencial

Modelizando la serie histórica por la expresión exponencial y por el método de mínimos cuadrados:

$$y=a \cdot x^b \quad (1.5)$$

$$\begin{cases} \Sigma \log Y = \log \alpha \cdot N + \log \beta \cdot \Sigma X \\ \Sigma X \cdot \log Y = \log \alpha \cdot \Sigma X + \log \beta \cdot \Sigma X^2 \end{cases} \quad (1.6)$$

El resultado de la sistema de ecuaciones (1.6) nos proporciona los coeficientes a y b que son necesarios para la representación de la parábola. Donde:

y : Valores representativos por cada segmento (Número de operaciones o de pasajeros).

x : Toma valores de 1 a n muestras.

Se obtiene las siguiente fórmulas exponenciales para cada segmento:

Operaciones Totales $y=a \cdot x^b$	$y=40105,83 \cdot x^{0,17143527}$
Operaciones Nacionales $y=a \cdot x^b$	$y=20080,50 \cdot x^{0,10861974}$
Operaciones Internacionales $y=a \cdot x^b$	$y=19959,50 \cdot x^{0,230112854}$
Pasajeros Totales $y=a \cdot x^b$	$y=4885719,29 \cdot x^{0,19775626}$
Pasajeros Nacionales $y=a \cdot x^b$	$y=1519627,87 \cdot x^{0,12272267}$
Pasajeros Internacionales	$y=3361093 \cdot x^{0,22962119}$

$y=a \cdot x^b$	
-----------------	--

Con un coeficiente de determinación para cada segmento:

R ² (Operaciones totales)	0,835
R ² (Operaciones nacionales)	0,404
R ² (Operaciones internacionales)	0,939
R ² (Pasajeros totales)	0,896
R ² (Pasajeros nacionales)	0,481
R ² (Pasajeros internacionales)	0,946

Las estimaciones para las diferentes áreas se puede observar en la siguiente tablas a partir de las ecuaciones la recta, parabólica y exponencial obtenidas anteriormente:

Estimaciones Operaciones nacionales

Operaciones Lanzarote				
PERIODO	NACIONAL	LINEAL NACIONAL	PARABOLICA NACIONAL	EXPONENCIAL NACIONAL
2012	22,428	19895.11	26248.28	20080.5
2013	19,740	20949.65	29626.34	21650.7189434345
2014	21,417	22004.19	33810.32	22625.5585385465
2015	21,680	23058.73	38800.22	23343.723053091
2016	22,800	24113.27	44596.04	23916.4360282418
2017	25,130	25167.81	51197.78	24394.7914074
2018	28,216	26222.35	58605.44	24806.6918483065
2019		27276.89	66819.02	25169.1136632976
2020		28331.43	75838.52	25493.1848898779
2021		29385.97	85663.94	25786.610621055
2022		30440.51	96295.28	26054.9548631214
2023		31495.05	107732.54	26302.3715766703
2024		32549.59	119975.72	26532.0471094453
2025		33604.13	133024.82	26746.4810698973
2026		34658.67	146879.84	26947.6717905623
2027		35713.21	161540.78	27137.2428963131
2028		36767.75	177007.64	27316.5321374986
2029		37822.29	193280.42	27486.6552637513
2030		38876.83	210359.12	27648.5529282927
R ²		0.663	0.953	0.404

Anexo 24. Estimaciones operacionales internacionales

Operaciones Lanzarote				
PERIODO	INTERNACIONAL	LINEAL INTERNACIONAL	PARABOLICA INTERNACIONAL	EXPONENCIAL INTERNACIONAL
2012	20457	21209	19958.88	19959.5
2013	22374	23042.57	23042.58	23411.0304121233
2014	26028	24876.14	25626.24	25700.4892749114
2015	26502	26709.71	27709.86	27459.4225785898
2016	29720	28543.28	29293.44	28906.2424012033
2017	31894	30376.85	30376.98	30144.7900008216
2018	29993	32210.42	30960.48	31233.2789224084
2019		34043.99	31043.94	32207.8898312438
2020		35877.56	30627.36	33092.7703083661
2021		37711.13	29710.74	33904.9034271789
2022		39544.7	28294.08	34656.723433097
2023		41378.27	26377.38	35357.6289724846
2024		43211.84	23960.64	36014.9106519009
2025		45045.41	21043.86	36634.3466881852
2026		46878.98	17627.04	37220.600356227
2027		48712.55	13710.18	37777.4938425094
2028		50546.12	9293.28000000001	38308.2021672357
2029		52379.69	4376.34	38815.3937779289
2030		54213.26	-1040.64	39301.3345924561
R ²		0.895	0.945	0.939

Anexo 25. Estimaciones operacionales totales

Operaciones Lanzarote				
PERIODO	TOTAL	LINEAL TOTAL	PARABOLICA TOTAL	EXPONENCIAL TOTAL
2012	42,885	41104.1	41868.81	40105.83
2013	42,114	43992.2	43992.21	45166.3158438942
2014	47,445	46880.3	46421.49	48417.5622645566
2015	48,182	49768.4	49156.65	50865.3252385104
2016	52,520	52656.5	52197.69	52848.8595636727
2017	57,024	55544.6	55544.61	54526.8084373862
2018	58,209	58432.7	59197.41	55986.989986667
2019		61320.8	63156.09	57283.426006268
2020		64208.9	67420.65	58451.8593840899
2021		67097	71991.09	59517.2393400772
2022		69985.1	76867.41	60497.7112536187
2023		72873.2	82049.61	61406.9089666639
2024		75761.3	87537.69	62255.3512752619
2025		78649.4	93331.65	63051.3337558839
2026		81537.5	99431.49	63801.5208396118
2027		84425.6	105837.21	64511.3518812462
2028		87313.7	112548.81	65185.3274752524
2029		90201.8	119566.29	65827.2162078355
2030		93089.9	126889.65	66440.2070888477
R ²		0.952	0.959	0.835

Anexo 26. Estimaciones Pasajeros Nacionales

Pasajeros Lanzarote				
PERIODO	NACIONAL	LINEAL NACIONAL	PARABOLICA NACIONAL	EXPONENCIAL NACIONAL
2012	1,688,106	1509537.5	1655915.6	1519627.87
2013	1,540,077	1598368.14	1598368.15	1654552.12888407
2014	1,611,786	1687198.78	1599371.94	1738965.01254823
2015	1,671,588	1776029.42	1658926.97	1801456.00198475
2016	1,764,621	1864860.06	1777033.24	1851470.15213037
2017	1,989,189	1953690.7	1953690.75	1893363.71118713
2018	2,166,839	2042521.34	2188899.5	1929522.90251466
2019		2131351.98	2482659.49	1961403.13165937
2020		2220182.62	2834970.72	1989960.42028821
2021		2309013.26	3245833.19	2015857.92301415
2022		2397843.9	3715246.9	2039575.28545013
2023		2486674.54	4243211.85	2061471.11469896
2024		2575505.18	4829728.04	2081820.84304245
2025		2664335.82	5474795.47	2100840.79735008
2026		2753166.46	6178414.14	2118704.11164022
2027		2841997.1	6940584.05	2135551.59862059
2028		2930827.74	7761305.2	2151499.38785868
2029		3019658.38	8640577.59	2166644.42313952
2030		3108489.02	9578401.22	2181068.5029527
R ²		0.737	0.978	0.481

Anexo 27. Estimaciones Pasajeros Internacionales

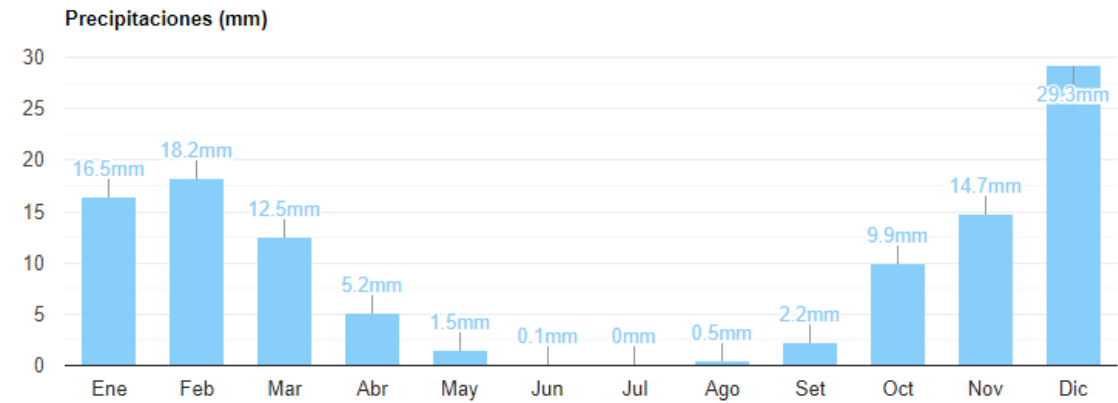
Pasajeros Lanzarote				
PERIODO	INTERNACIONAL	LINEAL INTERNACIONAL	PARABOLICA INTERNACIONAL	EXPONENCIAL INTERNACIONAL
2012	3,478,466	3542134.78	3411140.74	3361093.63
2013	3,792,170	3859690.42	3859690.43	3940973.15544902
2014	4,267,701	4177246.06	4255842.5	4325514.38910105
2015	4,455,418	4494801.7	4599596.95	4620897.57730724
2016	4,917,665	4812357.34	4890953.78	4863836.13535781
2017	5,395,244	5129912.98	5129912.99	5071782.5706497
2018	5,156,948	5447468.62	5316474.58	5254519.74577035
2019		5765024.26	5450638.55	5418127.34513059
2020		6082579.9	5532404.9	5566662.75622922
2021		6400135.54	5561773.63	5702979.37280255
2022		6717691.18	5538744.74	5829166.20527192
2023		7035246.82	5463318.23	5946802.19045391
2024		7352802.46	5335494.1	6057112.06696394
2025		7670358.1	5155272.35	6161066.46896883
2026		7987913.74	4922652.98	6259448.71096016
2027		8305469.38	4637635.99	6352900.80269615
2028		8623025.02	4300221.38	6441956.03229173
2029		8940580.66	3910409.15	6527062.58817824
2030		9258136.3	3468199.3	6608601.0394389
R ²		0.939	0.958	0.946

Anexo 27. Estimaciones Pasajeros Totales

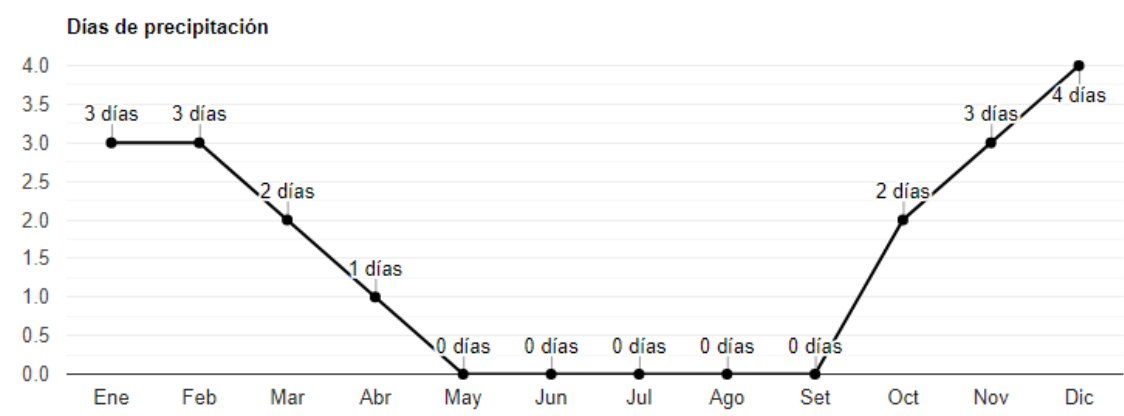
Pasajeros Lanzarote				
PERIODO	TOTAL	LINEAL TOTAL	PARABOLICA TOTAL	EXPONENCIAL TOTAL
2012	5,166,572	5051672.29	5067056.33	4885719.29
2013	5,332,247	5458058.58	5458058.57	5603496.13823086
2014	5,879,487	5864444.87	5855214.43	6071307.44644508
2015	6,127,006	6270831.16	6258523.91	6426723.90848065
2016	6,682,286	6677217.45	6667987.01	6716672.99257623
2017	7,384,433	7083603.74	7083603.73	6963262.89146408
2018	7,323,787	7489990.03	7505374.07	7178801.39614726
2019		7896376.32	7933298.03	7370894.73731251
2020		8302762.61	8367375.61	7544595.16016515
2021		8709148.9	8807606.81	7703441.18064556
2022		9115535.19	9253991.63	7850014.03979797
2023		9521921.48	9706530.07	7986258.40040949
2024		9928307.77	10165222.13	8113678.25802999
2025		10334694.06	10630067.81	8233462.36505484
2026		10741080.35	11101067.11	8346567.68730662
2027		11147466.64	11578220.03	8453776.761259
2028		11553852.93	12061526.57	8555738.21405564
2029		11960239.22	12550986.73	8652996.07593718
2030		12366625.51	13046600.51	8746011.42761128
R²		0.965	0.965	0.896

Anexo 28. Datos como precipitaciones y temperatura

Precipitaciones(mm) durante el año 2018. Fuente: AEMET

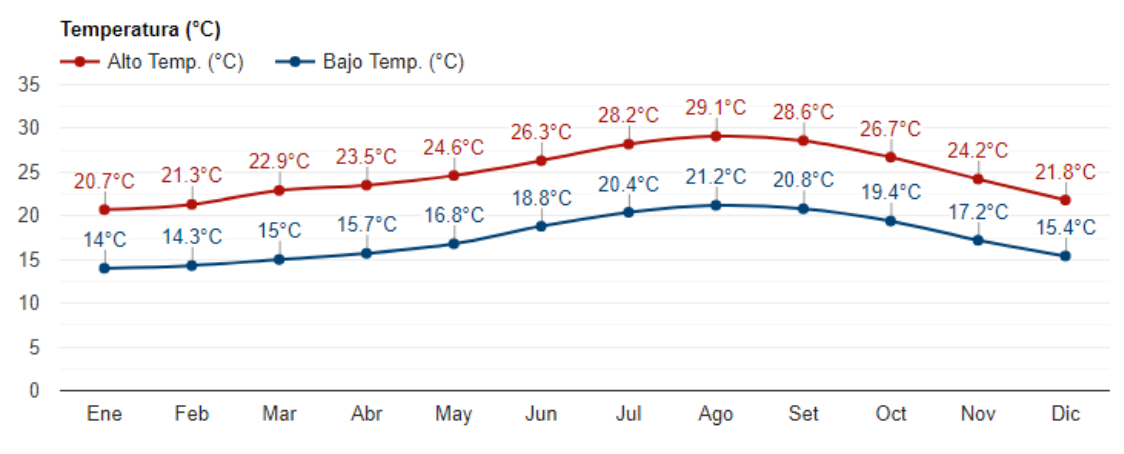


Promedio de días de lluvia durante el año 2018 en Lanzarote. Fuente: AEMET



Se puede observar que las precipitaciones son bajas en la isla en general durante todo el año. Durante el verano prácticamente no llueve.

Temperatura media en Lanzarote 2018. Fuente: AEMET

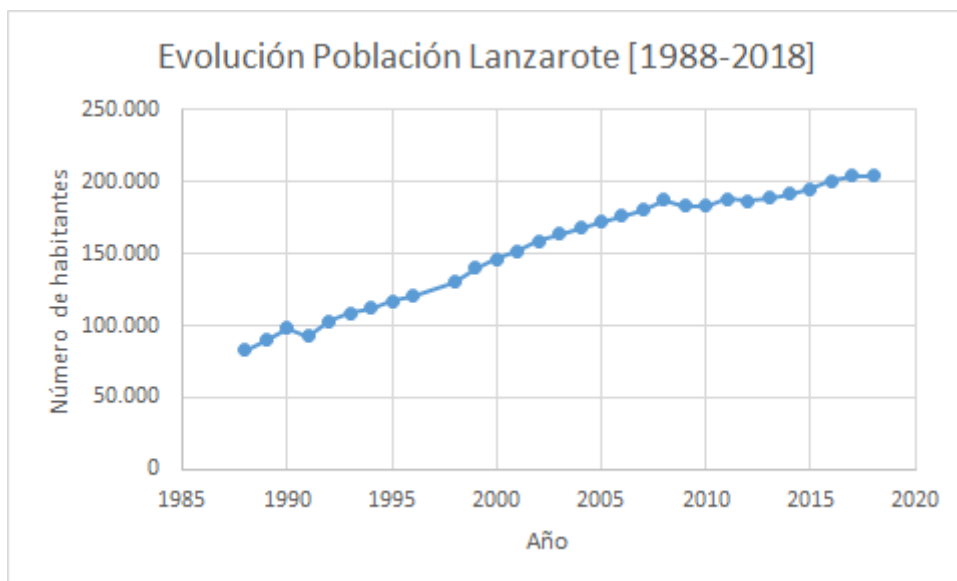


En la gráfica previa se muestra como las temperaturas no oscila tanto durante el año debido a las corrientes térmicas producidas por la presencia del mar que rodea la isla.

Anexo 29. Balance Hídrico de Lanzarote

Precipitación		Evapotranspiración		Escorrentía		Infiltración	
(mm)	(hm³/año)	(hm³/año)	%	(hm³/año)	%	(hm³/año)	%
140	111	99	89	2	2	10	9

Anexo 30. Evolución de de la población de Lanzarote en los últimos 30 años. Fuente: INE



En 30 años, la población de Lanzarote se ha triplicado. Sin embargo, hay una tendencia estabilizadora.

Anexo 31. Población proproductiva

Edad media e índices de juventud, vejez y dependencia (2018) Fuente: INE

MUNICIPIO	Edad media (años)	Índice de vejez (1)	Índice de juventud (2)	Índice de dependencia (3)
Arrecife	37,8	10,5	16,2	36,4
Haría	45,1	21,0	11,3	47,6
San Bartolomé	38,6	10,3	15,7	35,2
Teguise	39,7	12,0	15,9	38,7
Tías	40,9	14,1	13,6	38,2
Tinajo	39,2	12,2	16,4	40,0
Yaiza	37,4	9,3	15,4	32,8
LANZAROTE	38,9	11,5	15,5	36,9
CANARIAS	41,5	15,6	13,6	41,3

Se puede observar que Lanzarote carece actualmente de población productiva

Anexo 32. Sectores

Ocupación por sectores en Lanzarote (2018) Fuente: INE

Actividad económica <i>Economic activity</i>	Empleos <i>Employment</i>
Agricultura <i>Agriculture</i>	589
Industria <i>Industry</i>	2.013
Construcción <i>Construction</i>	3.915
Servicios <i>Services</i>	52.478
Comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos de motor y motocicletas	10.660
Transporte y almacenamiento	3.619
Hostelería	17.935
Información y comunicaciones	348
Actividades financieras y de seguros	200
Actividades inmobiliarias	857
Actividades profesionales, científicas y técnicas	1.687
Actividades administrativas y servicios auxiliares	3.650
Administración Pública y Defensa, S. Social obligatoria	4.005
Educación	2.005
Actividades sanitarias y de servicios sociales	3.643
Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento	1.484
Otros servicios	1.778
Actividades de los hogares como empleadores y productores de bienes y servicios para uso propio	606
Actividades de organizaciones y organismos extraterritoriales	1
TOTAL	58.995

Destaca el sector de Servicios que se lleva la gran mayoría de ocupación de la población.

Oferta alojativa insular (2018) Fuente: INE



El turismo y servicios generan el 80% de la actividad económica de la isla generando ofertas de trabajo, atrayendo inversores y adaptando la ciudad a la alta demanda de turistas.

Procedencia y evolución Turismo Lanzarote (2018) Fuente: INE

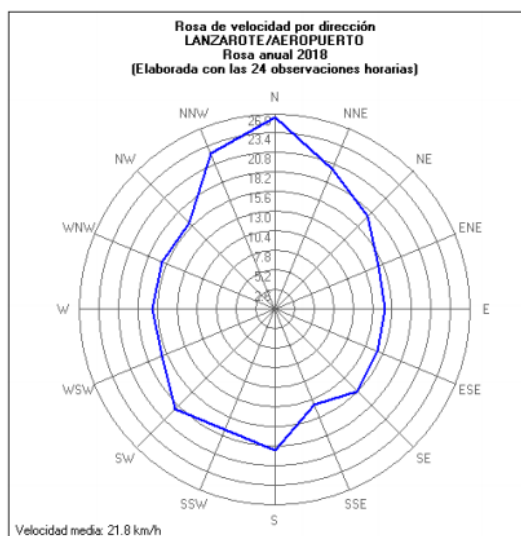
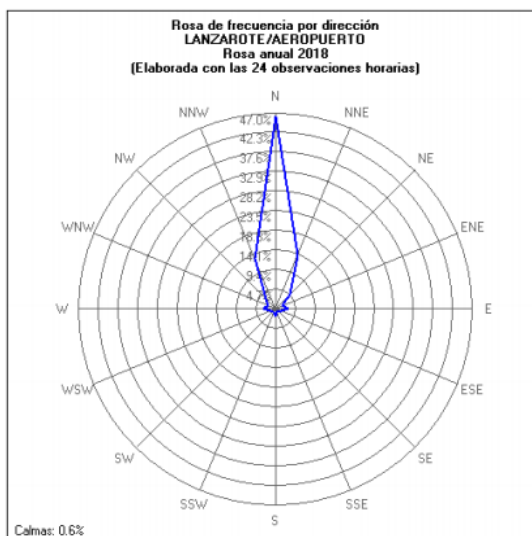


País Country	2018
Alemania	421.265
Bélgica	56.189
Francia	149.500
Holanda	116.144
Irlanda	291.428
Italia	75.053
Países Nórdicos	111.282
Reino Unido	1.401.147
ESPAÑA	273.350
Otros países	167.956
TOTAL	3.063.315



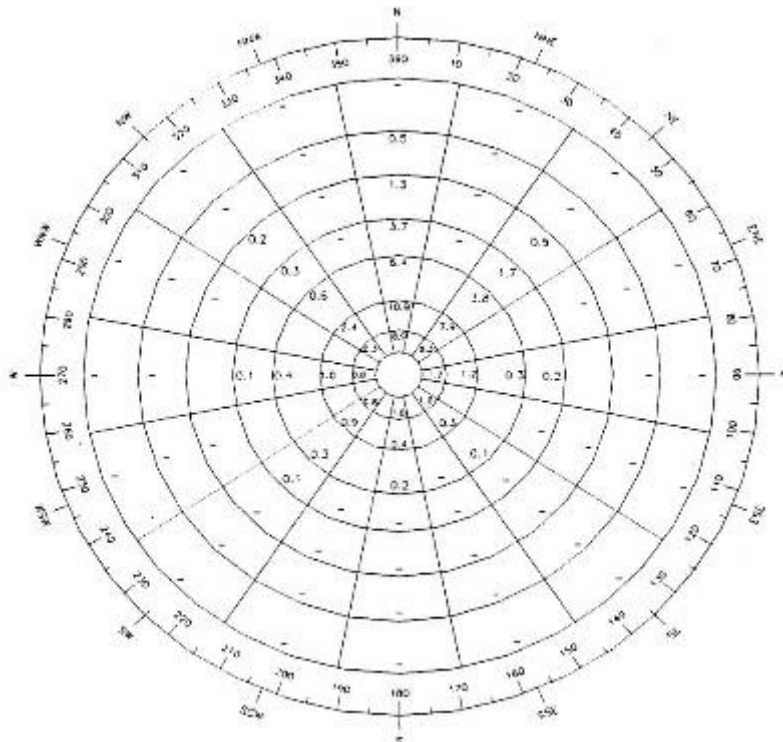
El turismo ha ido incrementando año tras año desde el 2010, sin embargo hay una tendencia estabilizadora debido a regulaciones para la prevención de la isla.

Anexo 33. Rosa de frecuencia por dirección y Rosa de velocidad por dirección.
Fuente: AEMET



Anexo 34. Metodología empleada para calcular el factor de aprovechamiento del viento

A partir de la rosa de vientos obtenida a partir de la tabla 2.2:
Rosa de Vientos Lanzarote

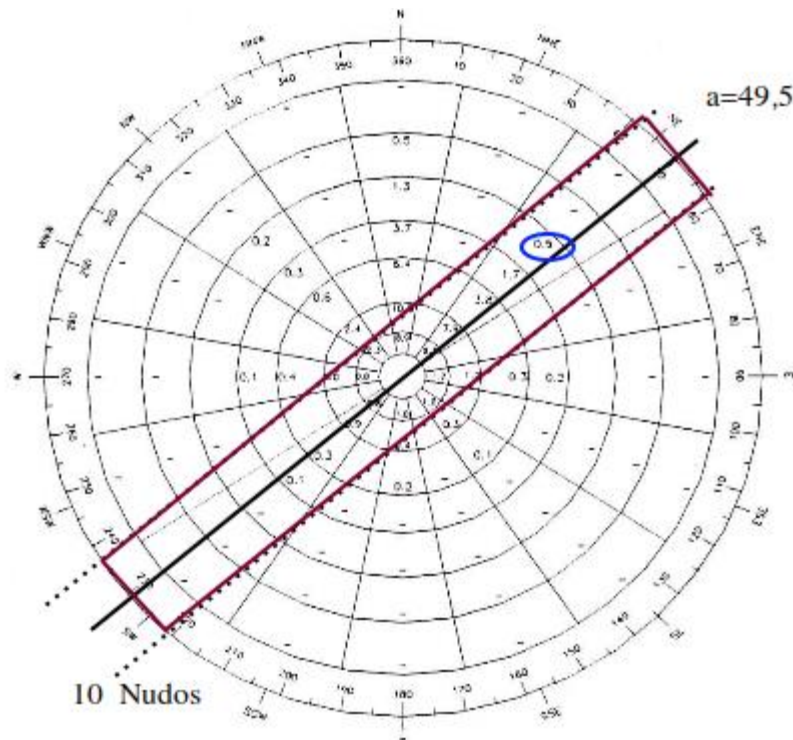


Se puede observar que se está representando lo mismo que en la tabla 2.2., pero de manera gráfica. Cada arco representa un valor de velocidad en nudos y los valores representados son frecuencias para cada arco en las 16 direcciones (N, NNE, NE, ENE, E, ESE, SE, SSE, S, SSW, SW, WSW, W, WNW, NW, N NW) .

Para satisfacer las condiciones de viento transversal admisible, se delimita un área de aprovechamiento que está contenido dentro de la rosa de viento y está centrada en la desviación geográfica de la solución a estudiar, con un ancho de valor al número del viento transversal.

Para obtener el factor de aprovechamiento para la pista anterior se sumará todos los porcentajes comprendidos en el área mencionada. Véase un ejemplo para S1:

Área rosa de vientos para 10 Nudos para la pista 05-23



Se puede observar que la metodología nos da una simple aproximación y para obtener un resultado más preciso se debe que tener en consideración vientos en cola, ráfagas entre otros factores meteorológicos. Sin embargo, nos permite obtener resultados concluyentes.

Anexo 35. Clave de referencia del aeropuerto de Lanzarote

Primero de todo, se aclarará la elección del número de referencia.

El propósito de la clave de referencia es básicamente indicar los tipos de aeronaves que pueden operar en un determinado aeropuerto. La OACI clasifica este código de referencia aeroportuario en términos de las dimensiones máximas de una aeronave que puede operar en un determinado complejo aeroportuario. La clave proporciona un método simple para relacionar entre sí las numerosas especificaciones concernientes a las características de los aeródromos, a fin de suministrar una serie de instalaciones aeroportuarias que convengan a los aviones destinados a operar en el aeródromo. No se pretende que esta clave se utilice para determinar la longitud de la pista ni la resistencia del pavimento, pero sí para determinar el ancho de ésta.

La clave se compone de dos elementos, los cuáles se pueden apreciar con facilidad en la tabla que se muestra más adelante, constituyendo las dos principales columnas de ésta. Dichos elementos se relacionan con las características y dimensiones del avión. El elemento 1 es un número basado en la longitud del campo de referencia del avión y el elemento 2 es una letra basada en la envergadura del avión y en la anchura exterior entre las ruedas del tren de aterrizaje principal. Al aplicar las disposiciones del Anexo 14, Volumen I, se indican en primer lugar los aviones para los que se destine el aeródromo y después los dos elementos de la clave.

Por lo que, primeramente, se procede a indicar los aviones que acoge el aeródromo de Lanzarote. Actualmente, están estipulados en la AIP del aeródromo los procedimientos de rodaje para las siguientes aeronaves: A320, B752, B753, B763, B764 y MD11.

Aunque la clave de referencia del aeródromo de Lanzarote sea 4D, éste también puede alojar aeronaves con clave 4E. Se permite la operación de aeronaves de clave 4E hasta el B747-400.

La siguiente tabla es fundamental para entender el significado de la clave de referencia, ya que dicho número y letra se asignan en ésta.

A continuación, se explicará brevemente como se determina la clave de referencia para el aeropuerto de Lanzarote y se llega a la conclusión de que éste corresponde a 4D.

A partir de la columna (2), se selecciona la mayor longitud de campo de referencia del avión entre todas las posibles aeronaves para los que se destina la pista. Por lo que el número de clave para el elemento 1 es 4, ya que la longitud de campo de referencia supera los 1.800 metros.

Después de encontrar el número de referencia, se pasa a determinar la letra de clave, la cuál depende de la máxima envergadura y de la anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal máxima de entre las aeronaves que pasarán por la pista. A partir de esos dos datos, se obtendrá una letra para cada una (o la misma). En caso de ser diferentes letras, se escogerá la que dé el valor más crítico para la letra de las dos.

Elementos 1 de la clave			Elementos 2 de la clave	
Núm. de clave (1)	Longitud de campo de referencia del avión (2)	Letra de clave (3)	Envergadura (4)	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal ^a (5)
1	Menos de 800 m	A	Hasta 15 m (exclusive)	Hasta 4,5 m (exclusive)
2	Desde 800 m hasta 1 200 m (exclusive)	B	Desde 15 m hasta 24 m (exclusive)	Desde 4,5 m hasta 6 m (exclusive)
3	Desde 1 200 m hasta 1 800 m (exclusive)	C	Desde 24 m hasta 36 m (exclusive)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)
4	Desde 1 800 m en adelante	D	Desde 36 m hasta 52 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		E	Desde 52 m hasta 65 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		F	Desde 65 m hasta 80 m (exclusive)	Desde 14 m hasta 16 m (exclusive)

a. Distancia entre los bordes exteriores de las ruedas del tren de aterrizaje principal.

La aeronave más grande a la que está destinada la pista actual de Lanzarote, es el B747, el cuál dispone de una envergadura de 64,9 metros. Este dato llevaría a pensar que el aeropuerto de Lanzarote tiene una clave de referencia de 4E, sin embargo, oficialmente dispone de una clave de 4D.

En este caso no se han mirado los demás tipos de aeronaves, ya que son menores que el B747. Por ejemplo, la envergadura del A320 es de 34,1 metros o el MD11 rozando el límite del máximo de envergadura para la letra D con 51,7 metros.

La agencia estatal de seguridad aérea (AESA) proporciona la siguiente tabla donde se muestran algunos de los parámetros más importantes a tener en cuenta en el proyecto.

TÉRMINOS DEL CERTIFICADO				
Código del Certificado	ES-027			
Nombre del aeropuerto / Código OACI	Aeropuerto de Lanzarote - GCRR			
Pista	03/21			
Condiciones operativas	Diurno / Nocturno		IFR / VFR (diurno)	
Distancias declaradas	TORA (m)	ASDA (m)	TODA (m)	LDA (m)
Pista 03	2400	2400	2460	2310
Pista 21	2310	2310	2460	2310
Tipos de despegue	Ambas pistas son aptas para despegues con visibilidad > 800m			
Tipos de aproximación	La pista 03 es apta para aproximaciones de precisión de Categoría I estándar La pista 21 es apta para aproximaciones instrumentales de no precisión			
Clave de referencia	General			
Clave de referencia	4D			
Restricciones a la operación	Se establecen restricciones para las aeronaves B767-400ER y MD-11 comprendidas en la clave de referencia, cuya operación se llevará a cabo según lo establecido en el procedimiento de letra clave superior			
Aeronaves de clave de referencia superior autorizadas	Aeronaves de letra de clave E: B747-400, A340-300 y aquellas con características iguales o inferiores			
Operación de helicópteros	Sí			
Nivel de protección SSEI	Nivel de protección 9			
Prestación de servicios de dirección de plataforma	No			

Anexo 36. Cálculo de la longitud verdadera de la pista

Con tal de conseguir la longitud de la pista, se aplicará la corrección de la longitud de la pista por elevación, temperatura y pendiente. Este método se utiliza cuando no se dispone del manual de vuelo adecuado. La longitud de la pista debe determinarse aplicando factores de corrección generales. Como primera medida debería elegirse para la pista una longitud básica que le permita atender los requisitos operacionales de los aviones para los que esté prevista la pista, y cómo se ha comentado en el apartado 2.2.1.3., éstas serán el A320 y el B737. Esta longitud básica es la longitud de pista seleccionada a los fines de planificación de aeródromos, que es necesaria para el despegue o el aterrizaje en condiciones correspondientes a la atmósfera tipo, a la elevación cero, con viento y pendiente de pista nulos.

A continuación, se enumerarán los criterios relativos a la longitud de pista extraídos directamente del manual de diseño de aeródromos de la OACI, los cuáles serán aplicados en los cálculos.

- La longitud básica seleccionada para la pista debería aumentarse a razón del 7% por cada 300 m de elevación.
- La longitud de la pista determinada debería aumentarse a su vez a razón del 1% por cada 1°C en que la temperatura de referencia del aeródromo

exceda a la temperatura de la atmósfera tipo correspondiente a la elevación del aeródromo (la tabla de la elevación se puede observar a continuación). Sin embargo, si la corrección total por elevación y temperatura fuera superior al 35%, las correcciones necesarias deberían obtenerse mediante un estudio al efecto. Las características operacionales de determinados aviones pueden indicar que estas constantes de corrección, por elevación y temperatura, no son adecuadas, y que podría ser necesario modificarlas en base a los resultados que se obtengan en un estudio aeronáutico que tome en consideración las condiciones que existan en el lugar en cuestión y los requisitos operacionales de tales aviones.

- Cuando la longitud básica determinada por los requisitos del despegue sea de 900 m o más, dicha longitud debería a su vez aumentarse a razón de un 10% por cada 1% de pendiente de pista determinada.
- En los aeródromos donde tanto la humedad como la temperatura son elevadas, acaso sea necesario aumentar la longitud de pista determinada en el criterio anterior, aunque no se pueden dar cifras exactas acerca de las mayores longitudes requeridas.

Todos estos criterios serán utilizados como factores en los cálculos para hallar la longitud de pista.

Altitud (m)	Temperatura (° Centígrados)	Presión (Kg/m ³)
0	15,00	1,23
500	11,75	1,17
1 000	8,50	1,11
1 500	5,25	1,06
2 000	2,00	1,01
2 500	-1,25	0,96
3 000	-4,50	0,91
3 500	-7,75	0,86
4 000	-10,98	0,82
4 500	-14,23	0,78
5 000	-17,47	0,74
5 500	-20,72	0,70
6 000	-23,96	0,66

Se procede a calcular la longitud de la pista.

El primer paso será exponer los datos:

	A320	B737-800
Longitud de pista requerida para aterrizar a nivel del mar en condiciones de atmósfera tipo	1.372 m	3.050 m
Longitud de pista requerida para despegar en un emplazamiento plano situado al nivel del mar en condiciones de atmósfera tipo	1.828 m	2.450 m
Elevación del aeropuerto	14 m	14 m
Temperatura de referencia del aeródromo	29 °C	29 °C
Temperatura a la elevación del aeropuerto (14 m) en la atmósfera tipo	14, 909 °C	14, 909 °C
Pendiente de pista	0,5 %	0,5 %

Las longitudes de pista para aterrizaje y despegue son extraídas de los manuales de la propia aeronave.

La elevación del aeropuerto se especifica en la AIP del aeropuerto conjuntamente con la temperatura de referencia.

La temperatura a 14 m se determina a partir de la tabla de altitud, temperatura y presión presentada antes de la tabla de datos aplicando una extrapolación de la siguiente forma:

$$y(x_*) = y_{k-1} + \frac{x_* - x_{k-1}}{x_k - x_{k-1}} (y_k - y_{k-1})$$

Donde $y(x_*)$ pertenece a la temperatura a una elevación de 14 m,

y_{k-1} es la temperatura de 15 °C (a 0 m),

y_k es la temperatura a 500 metros, es decir, 11,75 °C,

x_{k-1} son los 0 metros de altitud y,

x_k pertenece a los 500 metros.

Se ha asumido que el término k pertenece a la segunda fila de valores de la tabla, y el $k-1$ a la primera fila de 0 metros de altitud. Procediendo con el cálculo, se obtiene:

$$y(14m) = 15 + \frac{14 - 0}{500 - 0} (11,75 - 15) = 14,909 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La pendiente de la pista se ha asumido igual al de la pista actual en Lanzarote.

Después de exponer los datos, se procede a realizar las distintas correcciones de la longitud de pista para el Airbus 320:

- *Corrección de la longitud de pista para el despegue:*
Longitud de pista para el despegue corregida por elevación:

$$\left[1828 \times 0,07 \times \frac{14}{300} \right] + 1828 = 1833,97 \text{ m}$$

Longitud de pista para el despegue corregida por elevación y temperatura:

$$[1833,97 \times (29 - 14,909) \times 0,01] + 1833,97 = 2092,39 \text{ m}$$

Longitud de pista para el despegue corregida por elevación, temperatura y pendiente:

$$[2092,39 \times 0,5 \times 0,10] + 2092,39 = \mathbf{2197 \text{ m}}$$

- *Corrección de la longitud de pista para el aterrizaje:*
Longitud de pista para el aterrizaje corregida por elevación:

$$\left[1372 \times 0,07 \times \frac{14}{300} \right] + 1372 = \mathbf{1376,48 \text{ m}}$$

Longitud efectiva de la pista = **2197 m** ya que es el mayor valor entre la longitud de despegue y la de aterrizaje para el A-320.

Ahora, para el Boeing 737 se procederá del mismo modo:

- *Corrección de la longitud de pista para el despegue:*
Longitud de pista para el despegue corregida por elevación:

$$\left[2450 \times 0,07 \times \frac{14}{300} \right] + 2450 = 2458 \text{ m}$$

Longitud de pista para el despegue corregida por elevación y temperatura:

$$[2458 \times (29 - 14,909) \times 0,01] + 2458 = 2804,36 \text{ m}$$

Longitud de pista para el despegue corregida por elevación, temperatura y pendiente:

$$[2804,36 \times 0,5 \times 0,10] + 2804,36 = \mathbf{2944,58\ m}$$

- *Corrección de la longitud de pista para el aterrizaje:*

Longitud de pista para el aterrizaje corregida por elevación:

$$\left[3050 \times 0,07 \times \frac{14}{300} \right] + 3050 = \mathbf{3059,96\ m}$$

Longitud efectiva de la pista = **3060 m** ya que es el mayor valor entre la longitud de despegue y la de aterrizaje para el B-737.

Comparando ambos resultados, se adoptará el valor más grande, el cual es el correspondiente a 3060 metros de longitud.

Anexo 37. Anchura de la pista

Núm. de clave	Letra de clave					
	A	B	C	D	E	F
1ª	18 m	18 m	23 m	—	—	—
2ª	23 m	23 m	30 m	—	—	—
3	30 m	30 m	30 m	45 m	—	—
4	—	—	45 m	45 m	45 m	60 m

Anexo 38. Distancia entre cambios de pendiente

Se requiere calcular este dato a partir de la siguiente fórmula:

$$30.000 (|x-y| + |y-z|)m$$

siendo $|x-y|$ el valor numérico absoluto de $x-y$

$|y-z|$ el valor numérico absoluto de $y-z$.

Suponiendo que:

$$x = +0,01$$

$$y = -0,005$$

$$z = +0,005$$

Resultará lo siguiente:

$$|x-y| = 0,015$$

$$|y-z| = 0,01$$

Incluyendo el valor de 30.000 a cause del número de clave del aeropuerto de Lanzarote:

$$30.000 (0,015 + 0,01) m,$$

es decir, $30.000 \times 0,025 = \mathbf{750\ m}$.

Anexo 39. Objetos en las franjas de la pista

Deberán tenerse en cuenta el emplazamiento y el diseño de los desagües en las franjas de las pistas para evitar daños en los aviones que accidentalmente se salgan de la pista. Es posible que se requieran tapas de desagüe especialmente diseñadas.

Donde se instalen conductos de aguas pluviales descubiertos o cubiertos, se verificará que sus estructuras no se extiendan por encima del suelo circundante para que no se consideren un obstáculo.

Es necesario prestar atención particular al diseño y mantenimiento de un conducto de aguas pluviales descubierto a fin de evitar la atracción de fauna silvestre, especialmente aves. De ser necesario, puede cubrirse con una red.

Nivelación de las franjas de pista

La parte de una franja situada por lo menos 30 m antes del comienzo de una pista debería prepararse contra la erosión producida por el chorro de los motores, a fin de proteger los aviones que aterrizan de los peligros que representan los bordes expuestos.

El área prevista para reducir los efectos erosivos del chorro de los motores y del torbellino de las hélices puede denominarse plataforma antichorro.

Cuando las áreas tengan superficies pavimentadas, las mismas deberían poder soportar el paso ocasional de aviones críticos para el diseño del pavimento de la pista.

Pendientes de las franjas de pista

Las pendientes transversales en cualquier parte de una franja más allá de la parte que ha de nivelarse no deberían exceder de una pendiente ascendente del 5%, medida en el sentido de alejamiento de la pista.

Donde se considere necesario para lograr un desagüe adecuado, puede permitirse un conducto de aguas pluviales descubierto en la parte no nivelada de la franja de una pista, que se colocará lo más alejado posible de la pista.

En el procedimiento de salvamento y extinción de incendios (RFF) de los aeródromos sería necesario tener en cuenta el emplazamiento de los conductos de aguas pluviales descubiertos dentro de la parte no nivelada de la franja de una pista.

Anexo 40. Distancias mínimas de separación de las calles de rodaje

Tabla 1-1. Criterios relativos al diseño de una calle de rodaje

Características físicas	Letra de clave					
	A	B	C	D	E	F
Anchura mínima de:						
pavimento de la calle de rodaje	7,5 m	10,5 m	18 m ^a 15 m ^b	23 m ^c 18 m ^d	23 m	25 m
pavimento y margen de la calle de rodaje	—	—	25 m	38 m	44 m	60 m
franja de la calle de rodaje	32,5 m	43 m	52 m	81 m	95 m	115 m
parte nivelada de la franja de la calle de rodaje	22 m	25 m	25 m	38 m	44 m	60 m
Distancia libre mínima entre la rueda exterior del tren de aterrizaje principal y el borde de la calle de rodaje	1,5 m	2,25 m	4,5 m ^a 3 m ^b	4,5 m	4,5 m	4,5 m
Separación mínima entre el eje de la calle de rodaje y:						
eje de una pista de vuelo por instrumentos						
número de clave 1	82,5 m	87 m	—	—	—	—
2	82,5 m	87 m	—	—	—	—
3	—	—	168 m	176 m	—	—
4	—	—	—	176 m	182,5 m	190 m
eje de una pista que no sea de vuelo por instrumentos						
número de clave 1	37,5 m	42 m	—	—	—	—
2	47,5 m	52 m	—	—	—	—
3	—	—	93 m	101 m	—	—
4	—	—	—	101 m	107,5 m	115 m
eje de calle de rodaje	23,75 m	33,5 m	44 m	66,5 m	80 m	97,5 m
objeto						
calle de rodaje ^e	16,25 m	21,5 m	26 m	40,5 m	47,5 m	57,5 m
calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves	12 m	16,5 m	24,5 m	36 m	42,5 m	50,5 m
Pendiente longitudinal máxima de la calle de rodaje:						
pavimento	3%	3%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
variación de la pendiente	1% por 25 m	1% por 25 m	1% por 30 m	1% por 30 m	1% por 30 m	1% por 30 m
Pendiente transversal máxima de:						
pavimento de la calle de rodaje	2%	2%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
parte nivelada de la franja de la calle de rodaje						
pendiente ascendente	3%	3%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%
pendiente descendente	5%	5%	5%	5%	5%	5%
parte no nivelada de la franja						
pendiente ascendente	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Radio mínimo de la curva vertical longitudinal	2 500 m	2 500 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m
Alcance visual mínimo en la calle de rodaje	150 m desde una altura de 1,5 m	200 m desde una altura de 2 m	300 m desde una altura de 3 m	300 m desde una altura de 3 m	300 m desde una altura de 3 m	300 m desde una altura de 3 m

- a. Calle de rodaje destinada a aviones con base de ruedas de 18 m o más.
b. Calle de rodaje destinada a aviones con base de ruedas inferior a 18 m.
c. Calle de rodaje destinada a aviones con una anchura total del tren de aterrizaje principal de 9 m o más.
d. Calle de rodaje destinada a aviones con una anchura total tren de aterrizaje principal inferior a 9 m.
e. Calle de rodaje que no sea calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves.

Anexo 41. Cálculo de las distancias declaradas

Las distancias declaradas que han de calcularse para cada dirección de la pista son: el recorrido de despegue disponible (TORA), la distancia de despegue disponible (TODA), la distancia de aceleración-parada disponible (ASDA) y la distancia de aterrizaje disponible (LDA).

Se considera un RWY de 22000 para aeronaves de A320 (las más concurrentes) donde también podrán aterrizar algunas menos frecuentes como a 737-800

A737-800: 3060m

A320= 2200m 1372

UMBRAL 1= UMBRAL 2 = $(3060-2200)/2 = 430\text{m}$

CWR = 1000m x 150m

TORA = RWY+UMBRAL 1 = $2200+430=2630\text{m}$

TODA = TORA + CWR = $2200+1000=3200\text{m}$

ASDA = TORA + SWY= $2200+600= 2800\text{m}$

LDA = $2200+430=2630\text{m}$

Anexo 42. Simulación del escenario 2 sin rellenar



Anexo 43. Aerogenerador Made AE-46/I [55]

Datos generales

- Fabricante: Made (España)
- Turbina eólica : AE-46/I
- Potencia : 660 kW
- Diámetro : 46 m
- Modelo antiguo
- Clase de viento : IEC I
- Compatible offshore : no
- Área de barrido : 1 662 m²
- Densidad de potencia :
2.52 m²/kW
- Número de palas : 3
- Limitación de potencia :
Stall
- Puesta en servicio : 2002

Masas

- Masa de la góndola : 25 toneladas
- Masa de la torre : 40 toneladas
- Masa del rotor : 12 toneladas
- Masa total : 77 toneladas

Rotor

- Velocidad mínima del rotor: 17 vuelta/min
- Velocidad máxima del rotor: 25,5 vuelta/min
- Vitesse minimale de vent: 3,5 m/s
- Vitesse nomimale de vent: 15 m/s
- Vitesse maximale de vent: 25 m/s
- Fabricante : LM Glasfiber

Caja de cambios

- Caja de cambios : Si
- Niveles : 3
- Ratio 59,5
- Fabricante : Echesa

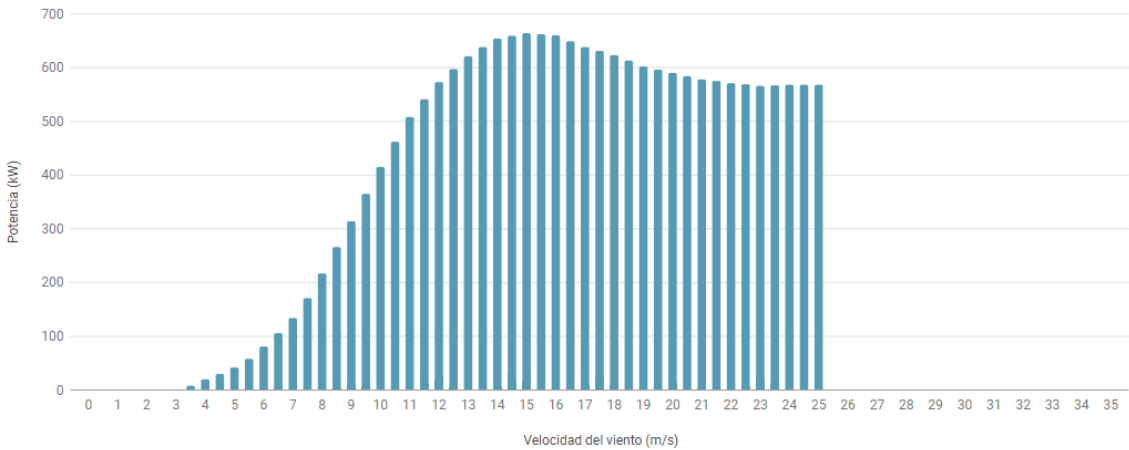
Generador

- Tipo : ASYNC
- Número : 1
- Velocidad de salida máxima del generador : 1517 vuelta/min
- Tensión de salida : 690 V
- Fabricante : Siemens

Torre

- Altura góndola: 43,5 m

Curva de potencia



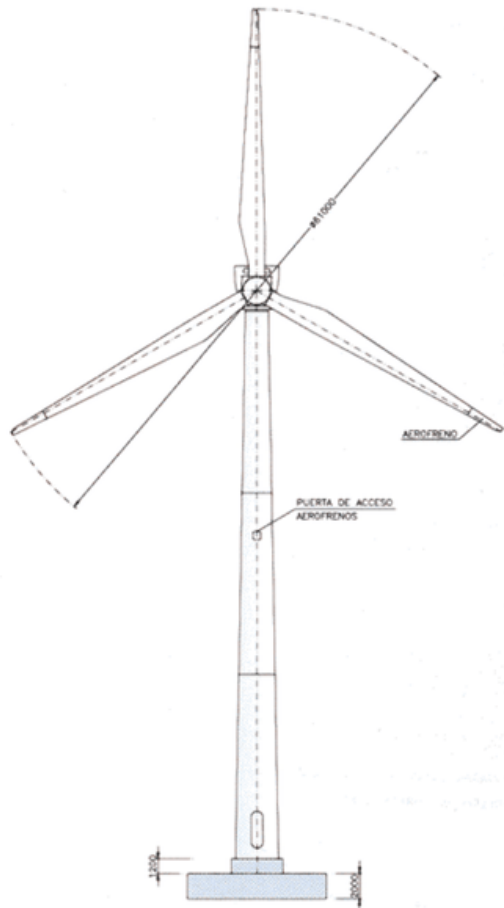
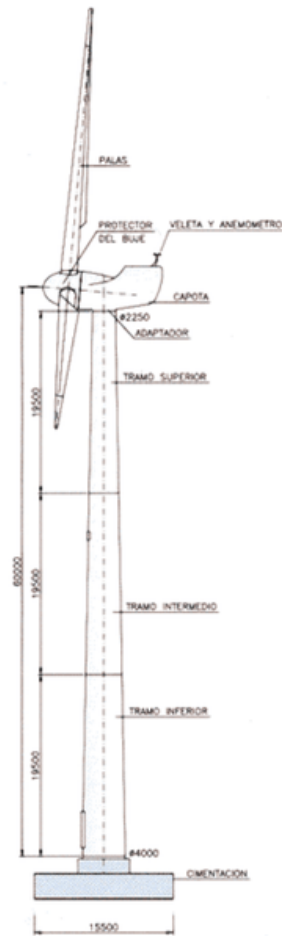
Ficha actualizada : 2 de enero de 2019



MADE AE-61

Aerogenerador 1.300 Kw

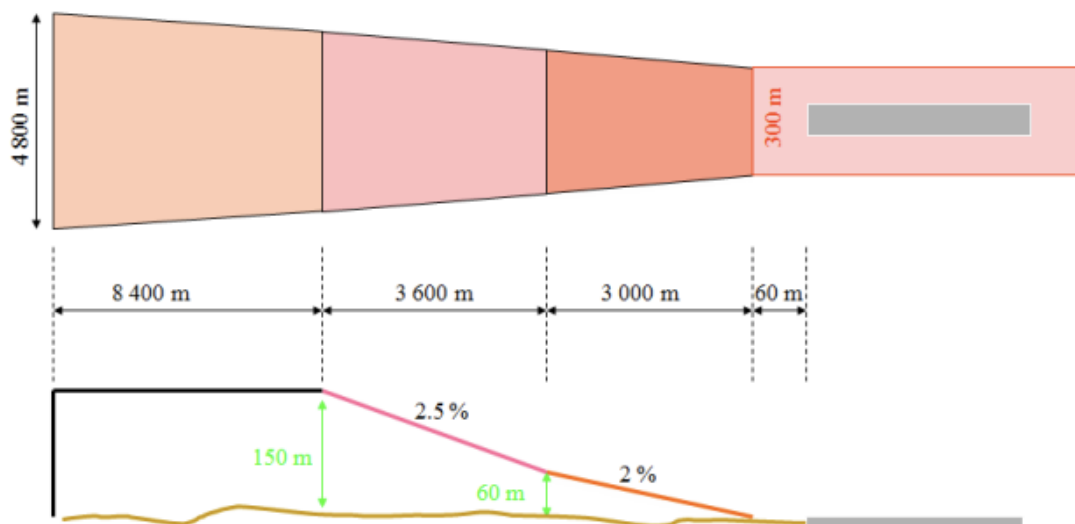
Alta potencia	Optimización del emplazamiento, menor impacto medioambiental
Multiplicador ejes paralelos (opcional)	Simplicidad y robustez
Serie poblada (> 1.000 máquinas operando)	Seguridad garantizada a largo plazo
Gran superficie de barrido, 2,214 m ²	Alta producción específica
Equipos de primeras marcas	Fiabilidad a largo plazo





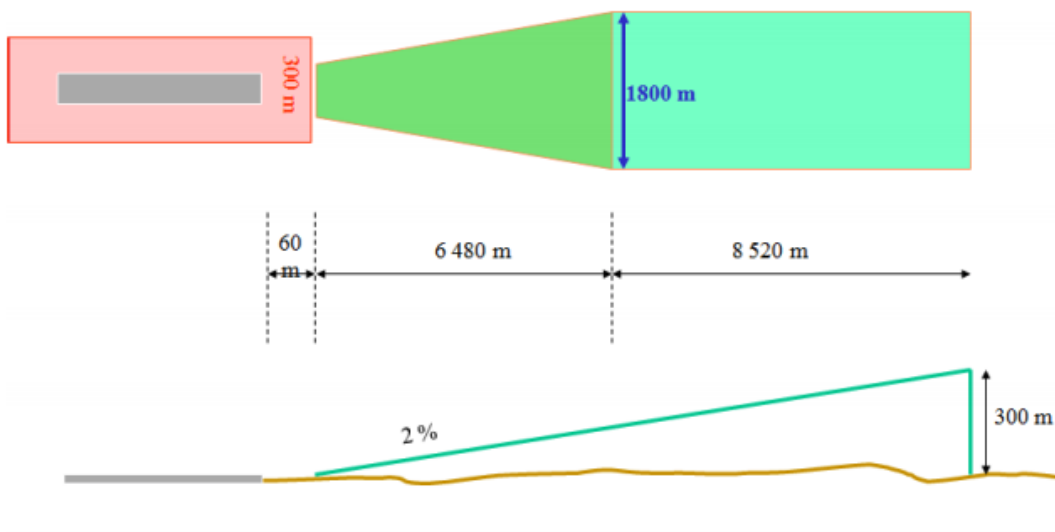
Anexo 44. Superficies limitadoras de obstáculos para pista categoría 4D

Superficie de aproximación



Esta superficie abarca unos 15km alcance desde 60m del umbral de pista.

Superficie de ascenso al despegue



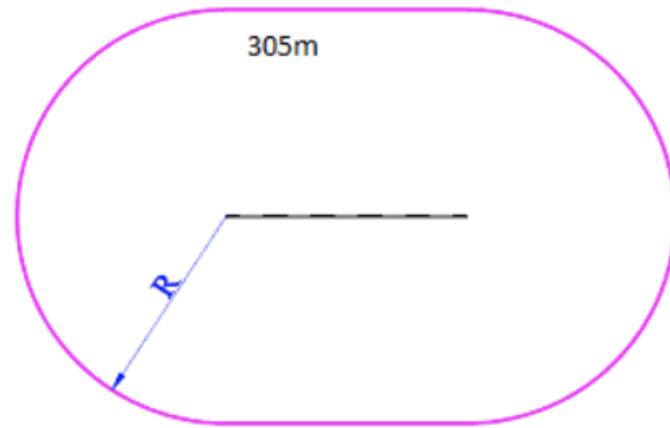
Superficie de aproximación interna.

Características	
Anchura (m)	120
Distancia desde el umbral	60
Longitud (m)	900
Pendiente (%)	2

The diagram shows a rectangular area representing the internal approximation surface. It has a length of 900m and a width of 120m. A horizontal arrow pointing to the right is labeled with a 2% slope. The rectangle is divided into two sections: a larger section on the left and a smaller section on the right.

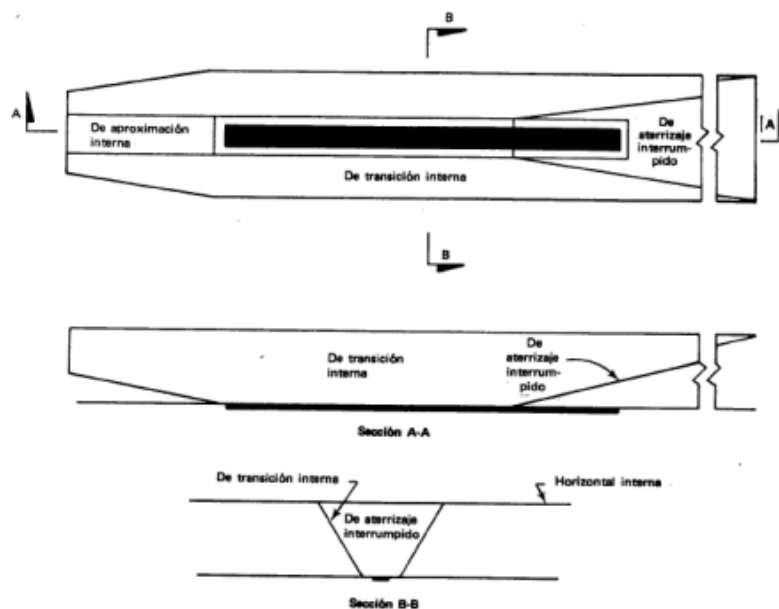
Superficie horizontal interna a 4000m

Se extiende hasta los 305m con un radio de 4000m



Superficie de transición interna:

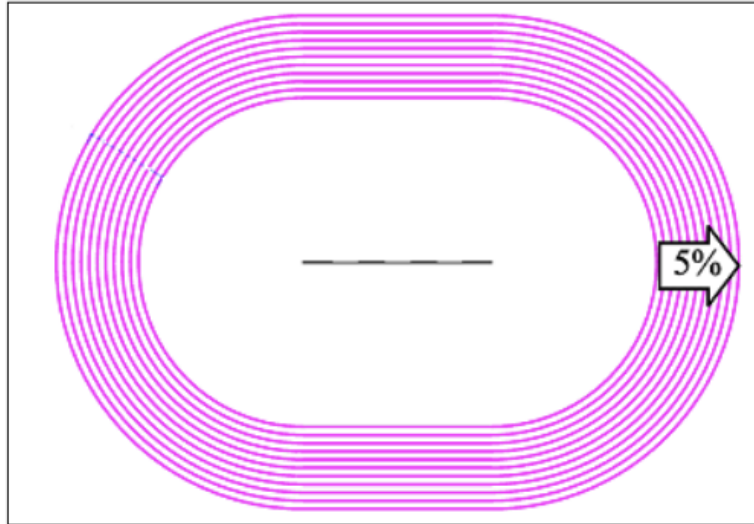
33,33% de pendiente hasta llegar a la altura de la horizontal interna de 305 m. Lo que corresponde analizar los obstáculos que se encuentran en un los laterales de la pista a unos 900 m. Sin embargo haber solo mar, se considera que la pista propuesta cumple los requisitos de esta superficie.



Superficie cónica

Pendiente de 5% de la extensión de la superficie horizontal interna.

Se extiende la horizontal interna con una pendiente de 5% hasta una altura sobre esta de 100m.



Superficie de transición:

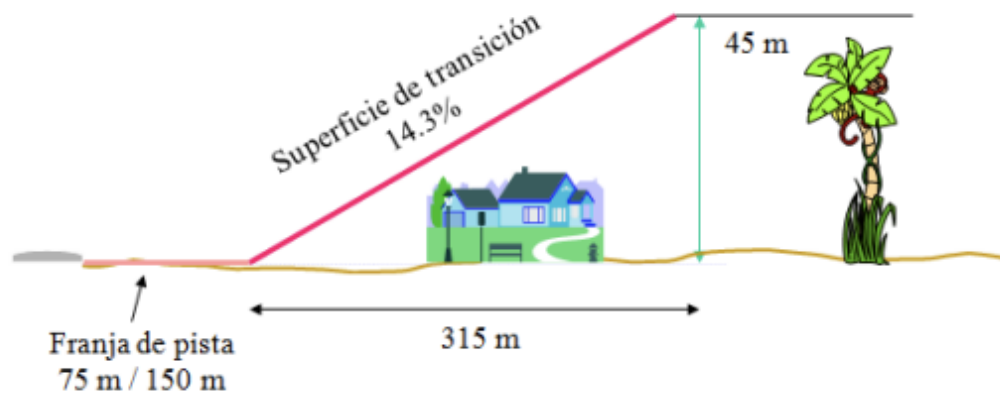
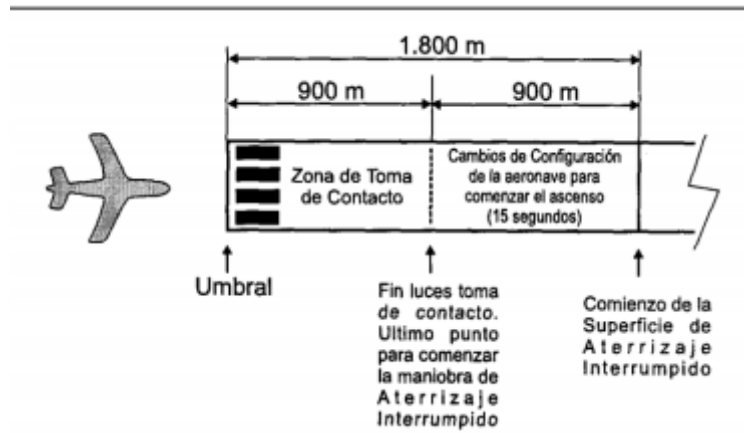


Figura 8.7: Superficie de transición

Superficie de aterrizaje interrumpido:



Anexo 45. Mejores 5 modelos de paneles solares

Hay muchos factores que hay que tener en cuenta a la hora de escoger las placas fotovoltaicas más indicadas. La mayor parte de las células fotovoltaicas están hechas de silicio aunque su proceso de fabricación puede variar y eso impacta en su calidad y rendimiento.

- Las placas solares Sunpower SPR-X21-345 son de tipo monocristalino. Cuentan con un total de 96 células y tienen una potencia de 214 Wp por metro cuadrado. Según el test de la OCU, estas placas fotovoltaicas son de muy buena calidad. Con una puntuación de 97, cuentan con una potencia de 345 W, una eficiencia del 21,20% y una garantía de producción tras 25 años del 87%.
- Los paneles solares de Panasonic, del modelo VBHN325SJ47 son de tipo monocristalino. Cuentan con un total de 96 células y tienen una potencia de 194 Wp por metro cuadrado. Con 94 puntos en el test de la OCU, se trata de placas de muy buena calidad. Cuentan con una potencia de 325 W y una eficiencia del 19,4%, además de una garantía de producción tras 25 años del 80%.
- En tercera posición se encuentran los paneles solares Aleo X59. Son placas solares de tipo monocristalino que cuentan con 184 Wp de potencia por metro cuadrado. Estas placas fotovoltaicas son de muy buena calidad según la OCU, que le ha concedido 86 puntos. La potencia de estos paneles solares es de 310 W, la eficiencia del fabricante es del 18,9% y la garantía de producción tras 25 años es del 80,5%.
- Los paneles solares Qcells Q.Peak-G4.1 305 cuentan con una potencia de 176 Wp por metro cuadrado y son de tipo monocristalino. Según el test de la OCU, estos paneles solares son de muy buena calidad con una puntuación de 77. Con 60 células, cuentan con una potencia de 305 W, su eficiencia es del 18,3% y la garantía de producción tras 25 años es del 83,6%.

- En el quinto puesto se encuentran los paneles sociales REC 280 TP. Se trata 120 células fotovoltaicas de tipo policristalino y con una potencia de 171 Wp por metro cuadrado.

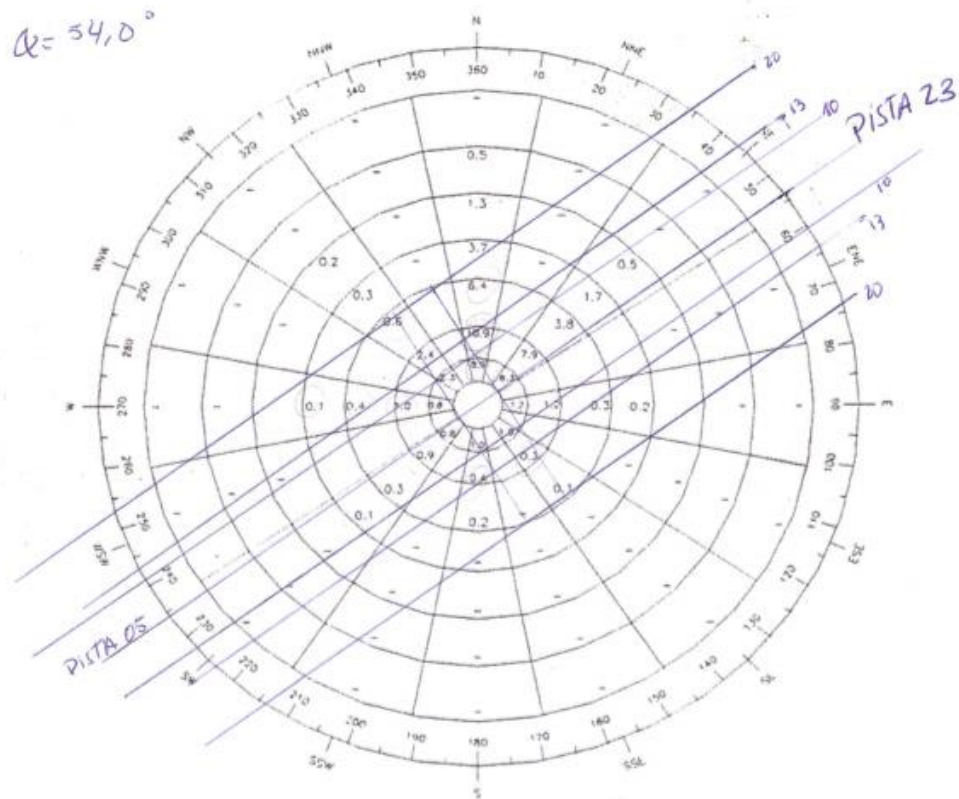
Estas placas solares han sido calificadas de muy buena calidad con una puntuación de 94 por la OCU. La potencia de estas placas fotovoltaicas es de 280 W, la eficiencia es del 17% y la garantía de producción tras 25 años es de 82,5%.

Anexo 46. Ubicación de los aerogeneradores

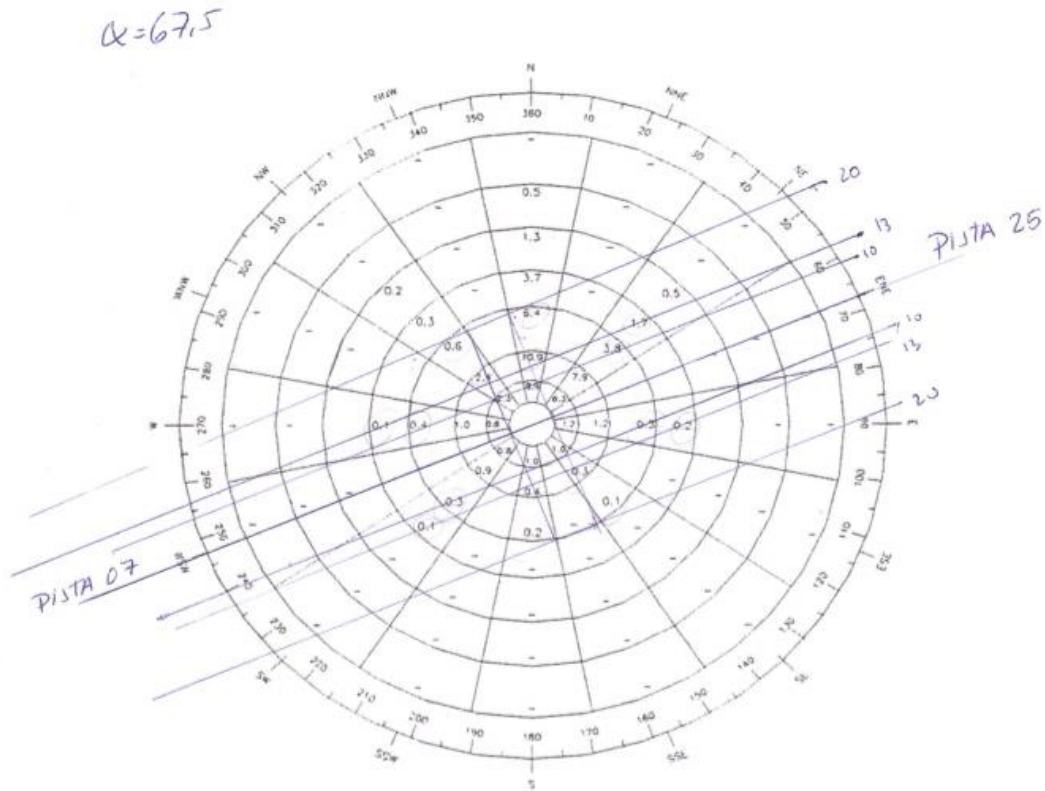


Anexo 47. Factor de aprovechamiento

Para la pista 05-23 (54,0° Solución 2)



Para la pista 07-25 ($67,5^\circ$ Solución 4)



Para la pista 05-23 (49,5° Solución 1)

